

APLICATIVO MÓVIL PARA LA DETECCIÓN DE LA DESNUTRICIÓN EN NIÑOS

MANUELA GARCÍA HOYOS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Biomédica

Director

Samuel Escobar González - Ingeniero Biomédico



**UNIVERSIDAD EIA – UNIVERSIDAD CES
INGENIERÍA BIOMÉDICA
ENVIGADO**

A mi familia, por motivarme constantemente a ser siempre mejor y enseñarme que todo lo que se sueña es alcanzable con paciencia y perseverancia.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Samuel Escobar González su acompañamiento y apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo, porque siempre creyó en mí, siempre estuvo a mi lado y siempre estuvo orgulloso de mi.

A Carlos Arango, el pediatra quien me apoyó y asesoró en el aspecto biológico relacionado a la desnutrición en niños, a la Fundación FAN y al nutricionista Andrés Felipe Sepúlveda por su ayuda en los temas relacionados a la desnutrición.

A David Betancur, María Sthefany Cardona, Braiam Escobar, María Clara Mejía y a todos los que realizaron constantes aportes durante el desarrollo de la aplicación móvil y brindaron ideas para hacer de este trabajo lo que es, muchas gracias.

Y a María Roldán, por guiarme durante el desarrollo de las pruebas de funcionalidad y usabilidad.

CONTENIDO

Introducción.....	15
1 Preliminares.....	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2 Objetivos del proyecto.....	17
1.2.1 Objetivo General.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
1.3 Marco de referencia.....	18
1.3.1 Antecedentes.....	18
1.3.2 Marco teórico.....	21
2 Metodología.....	36
2.1 Objetivo 1: Diseñar un aplicativo móvil que permita determinar si un paciente pediátrico sufre de desnutrición.....	36
2.1.1 Recopilación bibliográfica.....	36
2.1.2 Definición de las funcionalidades básicas de la aplicación móvil.....	36
2.1.3 Proponer un esquema de la estructura y la apariencia de la app.....	37
2.1.4 Verificar el funcionamiento general de la app y si realiza una correcta identificación de la desnutrición de un paciente.....	46
2.2 Objetivo 2: Creación de una base de datos que almacene tanto variables demográficas y antropométricas de los pacientes pediátricos.....	47
2.2.1 Definición de las variables de importancia para la base de datos.....	47
2.2.2 Diseño de la base de datos.....	47
2.2.3 Evaluación de la comunicación desde la app a la base de datos, comprobando que la información de interés si es enviada correctamente desde la app hacia la nube.....	48
2.3 Objetivo 3: Verificación del desempeño de la aplicación desarrollada por medio de pruebas de funcionalidad y usabilidad.....	48
2.3.1 Metodología para evaluar la funcionalidad de un software.....	48
2.3.2 Metodología para evaluar la usabilidad de un software.....	52
3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
3.1 Objetivo 1: Diseño de un aplicativo móvil que permita determinar si un paciente pediátrico sufre de desnutrición.....	56
3.1.1 Definición de las funcionalidades básicas de la aplicación móvil.....	56
3.1.2 Esquema de la estructura y la apariencia de la aplicación móvil.....	57
3.1.3 Aspectos técnicos.....	64
3.1.4 Funcionamiento de la aplicación móvil.....	75

3.2	Objetivo 2: Creación de una base de datos para el almacenamiento de variables demográficas y antropométricas del paciente.....	78
3.2.1	Definición de los datos de importancia	78
3.2.2	Diseño de la base de datos.....	79
3.3	Objetivo 3: Verificación del desempeño de la aplicación desarrollada por medio de pruebas de funcionalidad y usabilidad	83
3.3.1	Prueba de Funcionalidad	83
3.3.2	Prueba de Usabilidad.....	85
4	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	88
4.1	Conclusiones	88
4.2	Consideraciones futuras.....	90
4.2.1	Toma de medidas con la app	90
4.2.2	Base de datos	90
4.2.3	Pruebas de funcionalidad y usabilidad	91
4.2.4	Aspectos legales.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación antropométrica del estado nutricional para niñas y niños menores de 5 años, según indicador y puntos de corte (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).	27
Tabla 2. Manejo de la malnutrición severa aguda (WHO, 2006)	32
Tabla 3. Diámetros de los posibles marcadores a usar en la app.	43
Tabla 4. Relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de una enfermedad de acuerdo con un control.	51
Tabla 5. Calibración de la distancia focal (DF) para cada uno de los marcadores de la Figura 7, en la cual V hace referencia a las monedas viejas y N a las monedas nuevas colombianas.	68
Tabla 6. Resultados de la medición teórica vs medición con la app de la estatura	71
Tabla 7. Resultados de la medición teórica vs medición con la app del perímetro del brazo	71
Tabla 8. Resultados de la medición teórica vs medición con la app del perímetro de la cabeza	71
Tabla 9. Relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de desnutrición en niños menores a 5 años	84
Tabla 10. Valores de Sensibilidad, Especificidad, Valores Predictivos y Cocientes de Probabilidad para diagnosticar desnutrición en muestra de población infantil de la Fundación FAN.	84
Tabla 11. Resultados generales de la encuesta Quis 7	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación del Estado Nutricional según Patrones NCHS - 1977, ICBF (Gobierno de Colombia, ICBF, Instituto Nacional de Salud, & Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas, 2010).....	11
Figura 2. (a) Cinta MUAC (Flipkart, 2018). (b) Ejemplo de cómo se utiliza (Doctors without borders, 2013).	28
Figura 3. Representación del marcador (gris) y el recorte (azul).....	40
Figura 4. Diagrama del montaje a seguir para medir el perímetro del brazo	41
Figura 5. Diagrama del montaje a seguir para medir el perímetro de la cabeza, vista superior	41
Figura 6. Cálculo del perímetro de una elipse («Elipse», s. f.).	41
Figura 7. Marcadores utilizados en la app.....	42
Figura 8. Ejemplo de una foto de un brazo que fue tomada siguiendo el protocolo para la toma de imágenes.	46
Figura 9. Ejemplo de una foto tomada siguiendo el protocolo para la toma de imágenes para medir el perímetro cefálico.....	46
Figura 10. Ejemplo de una foto tomada siguiendo el protocolo para la toma de imágenes para medir la estatura	45
Figura 11. Diagrama de flujo de la app	57
Figura 12. Diagrama de clases del programa en Swift.....	58
Figura 13. Vista de inicio de la App.....	59
Figura 14. Vista de Registro de un nuevo usuario.....	60
Figura 15. Vista del formulario para un nuevo usuario	60
Figura 16. Vista de Inicio de sesión para usuarios previamente registrados	61
Figura 17. Vista del formulario de un usuario previamente registrado.....	62
Figura 18. Vistas que permiten la selección de recortes para realizar medidas de estatura, perímetro de la cabeza y del brazo (Varía dependiendo de la medida a realizar)	63
Figura 19. Vista Final, tabla con el resultado obtenido.....	63
Figura 20. Interfaz gráfica y flujo de la App.....	64
Figura 21. Diagrama de bloques de una app que realiza el procesamiento de imágenes con OpenCV.	65
Figura 22. Procesamiento de imágenes con OpenCV en Xcode (a) Imagen de prueba (Universidad EIA, s. f.). (b) Contornos de la imagen.	65
Figura 23. Representación gráfica de la distancia focal de un dispositivo, vista superior.	67
Figura 24. Diagrama de bloques correspondiente a la calibración de la distancia focal, una constante necesaria para calcular la distancia entre un objeto y la cámara.	68
Figura 25. Sección transversal del brazo. A y B son los dos diámetros por calcular por medio de la imagen para estimar el perímetro braquial (smartdraw, s. f.).	69
Figura 26. Diagrama de bloques de una app con recortes y marcadores.	70
Figura 27. Patrones de crecimiento infantil de la OMS para niñas (OMS, 2014). El valor establecido como normal (en morado) corresponde a la desviación estándar 0, así como -1, -2, -3, 1, 2, y 3 desviaciones estándar de dicho valor.....	74

Figura 28. Patrones de crecimiento infantil de la OMS para niños (OMS, 2014). El valor establecido como normal (en morado) corresponde a la desviación estándar 0, así como -1, -2, -3, 1, 2, y 3 desviaciones estándar de dicho valor.....	75
Figura 29. Instrucciones y alertas para realizar una medición del perímetro del brazo. ...	76
Figura 30. Instrucciones y alertas para realizar una medición de la cabeza.....	76
Figura 31. Instrucciones y alertas para realizar una medición de la estatura	77
Figura 32. Alertas en la vista de resultados, a la izquierda se describen los indicadores del estado nutricional y a la derecha se muestra una recomendación basada en los resultados obtenidos.....	77
Figura 33. Vista de algunos usuarios autenticados en Firebase	80
Figura 34. Vista de la base de datos creada en Firebase	80
Figura 35. Datos guardados de un usuario	81
Figura 36. Datos de Resultados y de Ubicación desplegados de un usuario	82
Figura 37. Distribución de los usuarios encuestados por edades en rangos.....	85

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones de las tablas de la OMS.....	100
Anexo 2. Carta de autorización para el uso de historias clínicas en la prueba de funcionalidad	116
Anexo 3. Información obtenida de las historias clínicas	117

GLOSARIO

NIÑO: de acuerdo al Código de la Infancia y la Adolescencia se entiende por niño o niña, las personas entre 0 y los 12 años (Congreso de Colombia, 2006).

MORBILIDAD: es la cantidad de personas que enferman en un lugar y un período de tiempo determinados en relación con el total de la población (Gobernación del Valle del Cauca, 2007).

MORTALIDAD: indica el número de defunciones por lugar, intervalo de tiempo y causa. La causa básica de defunción se define como "la enfermedad o lesión que desencadenó la sucesión de eventos patológicos que condujeron directamente a la muerte, o las circunstancias del accidente o acto de violencia que produjeron la lesión mortal", según lo expuesto en la Clasificación Internacional de Enfermedades (OMS, 2017b).

APLICACIÓN MÓVIL (APP): en esencia, una aplicación es un software. Haciendo una analogía, las aplicaciones son para los teléfonos móviles lo que los programas son para los computadores. "Las apps pueden llegar a ser más poderosas que el portal móvil en la medida que pueden potencializar mucho más las virtudes de cada dispositivo móvil. Tecnologías como Realidad Aumentada, Geolocalización y aplicaciones con la cámara solo se pueden utilizar mediante aplicaciones móviles" (Cuello & Vittone, 2013b; Mejía Llano, 2011).

Según la RESOLUCIÓN 2121 DE 2010 de la Republica de Colombia, expedida por el Ministerio de la Protección Social (2010):

PUNTOS DE CORTE: son los puntos que permiten mejorar la capacidad para identificar la población que sufre o está en riesgo de padecer algún problema nutricional.

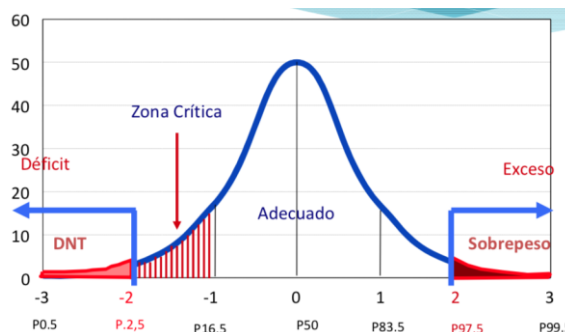


Figura 1. Clasificación del Estado Nutricional según Patrones NCHS - 1977, ICBF (Gobierno de Colombia, ICBF, Instituto Nacional de Salud, & Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas, 2010)

PUNTUACIÓN Z (Z SCORE): es la diferencia entre el valor individual y el valor medio de la población de referencia, para la misma edad o talla, dividido entre la desviación estándar de la población de referencia, es decir, identifica cuán lejos de la mediana (de la población de referencia) se encuentra el valor individual obtenido.

CRECIMIENTO: es el incremento progresivo de la masa corporal dado por el aumento en el número de células.

ESTADO NUTRICIONAL: es el resultado de la relación entre la ingesta de energía y nutrientes y el gasto dado por los requerimientos nutricionales para la edad, sexo, estado fisiológico y actividad física.

INDICADOR ANTROPOMÉTRICO: es la combinación de dos variables o parámetros, ejemplos peso/talla; talla/edad, entre otros.

ÍNDICE DE MASA CORPORAL (IMC): es un número que describe el peso de una persona en relación con su longitud/talla, calculada como kg/m^2 .

IMC PARA LA EDAD: es un indicador de Crecimiento que relaciona el IMC con la edad.

LONGITUD/TALLA PARA LA EDAD: indicador de crecimiento que relaciona la longitud o talla de un niño para la edad.

PESO PARA LA EDAD: un indicador de crecimiento que relaciona el peso con la edad.

PESO BAJO PARA LA EDAD: también denominado desnutrición global o insuficiencia ponderal. Indica bajo peso para una edad específica, considerando un patrón de referencia. El indicador P/E se encuentra por debajo de -2 desviaciones estándar. Refleja desnutrición pasada y presente.

PESO PARA LA LONGITUD/TALLA: un indicador de crecimiento que relaciona el peso con longitud (para niños menores de 2 años) o con talla (para niños de 2 años o mayores).

PESO BAJO PARA LA TALLA: también denominado desnutrición aguda. Indica bajo peso con relación a la talla (P/T), sin tener en cuenta la edad. El indicador P/T se encuentra por debajo de -2 desviaciones estándar.

PESO MUY BAJO PARA LA TALLA: también denominado desnutrición aguda severa. El indicador P/T se encuentra por debajo de -3 desviaciones estándar.

RETRASO EN TALLA: también denominado talla baja para la edad o retraso en talla. Déficit en la talla con relación a la edad (T/E). El indicador T/E se encuentra por debajo de -2 desviaciones estándar (Ministerio de la Protección Social, 2010).

VARIABLE DICOTÓMICA: variable que solo puede tener dos valores (Osada, Vidal, & León, 2014).

RESUMEN

En la actualidad, todos los países del mundo se ven afectados por la malnutrición. Aproximadamente el 45% de las muertes de menores de cinco años a nivel mundial se deben a la desnutrición. En Colombia, entre el 2005 y el 2014 se produjeron en promedio ~~de~~ 405 muertes anuales por desnutrición en menores de 60 meses (OMS, 2017a; ONU, 2013). Esta enfermedad puede ser diagnosticada y tratada sin necesidad de realizar pruebas especializadas. No obstante, los esfuerzos se quedan cortos en comparación con la gravedad del problema y la urgencia de realizar diagnósticos más eficientes. Se evidencia entonces la necesidad de desarrollar una herramienta que analice las variables relacionadas con la desnutrición de un paciente pediátrico y que permita realizar una identificación de un posible caso de la enfermedad. Para lograrlo, se pretende desarrollar un aplicativo móvil para iOS que utilice los instrumentos del celular para procesar los parámetros relacionados con dicha enfermedad. Subsecuentemente, se pretende crear una base de datos a partir de la información recolectada previamente. Por último, se verificará el desempeño de ambos desarrollos por medio de pruebas de funcionalidad y usabilidad. El resultado es una app que brindará un panorama más claro de la presencia de dicha enfermedad en el país y una base de datos que servirá de guía para organizaciones enfocadas a resolver este problema, permitiendo distribuir, de una forma más eficaz, las ayudas que hoy existen para que lleguen a las poblaciones más necesitadas, ayudando a reducir las repercusiones de la desnutrición en los niños de Colombia, tanto inmediatas como futuras.

Palabras clave: App, Desnutrición Infantil, Diagnostico, Base de Datos, Telemedicina.

ABSTRACT

Nowadays, one or more types of malnutrition affect every country in the world. In the planet, around 45% of the deaths of children under 5 years old are related to undernourishment. In Colombia, between 2005 and 2014, there were, on average, 405 annual deaths related to undernourishment of children under 60 months (OMS, 2017a; ONU, 2013). This disease can be diagnosed and treated without the need of complex medical exams. However, the efforts to eradicate this illness fall short in comparison with the severity of the problem and the urgency to perform a more efficient diagnosis. Thus, the need to develop a tool that analyze the variables related to the undernourishment of a pediatric patient and can also identify a possible case of this disease is evident. To accomplish this, the intention of this project is to develop a mobile application for iOS that uses the tools available from the phone to process the parameters related with undernourishment. Subsequently, a database will be created based on the information collected from the patient. Lastly, the performance of both developments will be verified through usability and functionality tests. The result is an app that will offer a clearer perspective of the presence of malnutrition in the country and a database that will serve as a guide for organizations focused on solving this problem, allowing the proper distribution of aids so that they reach the ones that need them the most, helping to reduce both the immediate and future consequences of undernourishment in Colombia.

Keywords: App, Child Undernourishment, Diagnosis, Data Base, Telemedicine.

INTRODUCCIÓN

La desnutrición es causada por un consumo deficiente de alimentos para satisfacer las necesidades de energía alimentaria (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014). Esta enfermedad trae consigo graves consecuencias, especialmente para los niños. La desnutrición no solo tiene impactos en el individuo que la padece, sino que también tiene graves repercusiones en el desarrollo económico y social de un país, así como en el bienestar de su población (Organización Mundial de la Salud, 2018). En Colombia, entre 2005 y 2014 se produjeron 4,050 muertes por desnutrición en menores de cinco años. De acuerdo con la encuesta nacional de seguridad alimentaria y nutricional presentada en 2015, uno de cada diez niños muere de desnutrición y al menos 13,2% de los niños y niñas menores de cinco años en el país presenta desnutrición crónica (Moreno Segura, 2016). Es importante resaltar que se ha presentado una reducción de los casos comparados con años anteriores. En 1990, uno de cada cuatro niños tenía desnutrición crónica, mientras que hoy en día solo es uno de cada diez (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014). No obstante, las muertes relacionadas con la desnutrición son innecesarias y evitables (Ruiz Gómez, Franco Restrepo, Góngora Salazar, Girón Vargas, & Rodríguez Norato, 2016). Para contrarrestar los efectos de la desnutrición en el país se han desarrollado diversas estrategias propuestas por instituciones públicas y privadas.

Este trabajo busca desarrollar una herramienta para identificar la desnutrición en niños menores de cinco años. Adicionalmente, pretende crear una base de datos que permita llevar un registro constante y actualizado de la población que padece de desnutrición en Colombia, para que luego sirva para guiar a los programas ayuda, garantizando que si lleguen a las poblaciones que realmente la necesitan.

En la primera parte de este trabajo se muestra la metodología utilizada para diseñar y programar una aplicación para dispositivos móviles iOS que permita la adquisición de datos relevantes para determinar si un paciente sufre de desnutrición. Posteriormente, se describen los pasos y software utilizados para el desarrollo de una base de datos en tiempo real con la información recolectada de los pacientes desde la app. Finalmente, se muestra la verificación del funcionamiento de la aplicación móvil y la base de datos en conjunto.

Con la elaboración de este trabajo de grado se pretende mostrar el alcance de la telemedicina como herramienta para el diagnóstico de una enfermedad. Por otro lado, se pretende mostrar la importancia del uso de bases de datos que permitan almacenar información actualizada para luego, con dichos datos, poder visualizar la distribución de una enfermedad en un territorio. Estas herramientas pueden ser de gran valor a la hora de tomar decisiones y desarrollar programas de prevención basados en las necesidades reales de la población.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1 PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“La desnutrición, especialmente en la infancia es un obstáculo que impide que los individuos, e incluso las sociedades, desarrollen todo su potencial” (UNICEF, 2006).

En la actualidad, todos los países del mundo se ven afectados por una o más formas de malnutrición. Dicha enfermedad es uno de los mayores problemas sanitarios a escala mundial y combatir todas sus variaciones es vital para garantizar el bienestar de la población mundial, disminuir la desigualdad y hacer un mundo más justo. De ahí que, uno de los objetivos del milenio propuestos por las Naciones Unidas sea combatir la malnutrición, pues es una problemática que obstaculiza el apropiado desarrollo de las naciones (ONU, 2013).

La desnutrición trae consigo graves consecuencias, especialmente para los niños, pues se evidencia una alteración en su “estado de salud sistemática irreversible causada por un uso deficiente de nutrientes por las células del organismo. El periodo infantil y juvenil se caracteriza por ser un proceso dinámico y de continuo crecimiento, desarrollo y maduración del individuo en su esfera biológica, psicológica y social”. En otras palabras, además de las consecuencias físicas de la desnutrición, la capacidad de aprendizaje se ve afectada en términos de actitud, destreza, hábitos y valores relacionados con la salud en general (Luna Caicedo & Vargas Triana, 2008).

En 2014, en el mundo había aproximadamente 462 millones de adultos con insuficiencia ponderal. Se calcula que, en 2016, 155 millones de niños menores de cinco años presentaban retraso del crecimiento. Adicionalmente, alrededor del 45% de las muertes de menores de 60 meses a nivel mundial están relacionadas con la desnutrición, teniendo en cuenta que la mayoría se registran en los países de bajos y medianos ingresos. Así mismo, es importante resaltar que la población más vulnerable a esta enfermedad son las mujeres, los lactantes y los niños, debido al aumento de sus requerimientos nutricionales, su rápido crecimiento y desarrollo (OMS, 2017a).

De acuerdo con la encuesta nacional de seguridad alimentaria y nutricional (Ministerio de Salud de Colombia, 2017) presentada en 2015, uno de cada diez niños muere de desnutrición y al menos 13,2% de los niños y niñas menores de cinco años en el país presenta desnutrición crónica. En 1990, uno de cada cuatro niños tenía desnutrición crónica, mientras que hoy solo es uno de cada diez. Además, la desnutrición global afecta a 3,7% de los menores del país, menos de la mitad del registro de 1990, cuando impactaba a 8,6% de los menores de 5 años. No obstante, las muertes relacionadas con la desnutrición son innecesarias y evitables. De ahí que, a pesar de las reducciones, las cifras siguen siendo preocupantes, pues idealmente ningún niño, adulto o anciano debería morir a causa de desnutrición (Moreno Segura, 2016).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ahora bien, es válido mencionar que de acuerdo con un reporte sobre seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo realizado por UNICEF en el 2017, “los conflictos son un factor clave de las situaciones de crisis alimentaria grave y las hambrunas que recientemente han vuelto a aparecer, si bien los efectos del hambre y la desnutrición son mucho peores en lugares en donde los conflictos son prolongados y las capacidades institucionales insuficientes”. Luego, un país como Colombia, con largos conflictos armados, es especialmente vulnerable a este tipo de problemáticas, generadas por la guerra y por la poca presencia de las instituciones del Estado en las zonas rurales de la nación. Lo anterior hace la labor del gobierno por subsanar la problemática, no solo más complicada sino más necesaria, pues hay mayores posibilidades de que su población sufra de inseguridad alimentaria que el resto de los países (FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF, 2017).

Para contrarrestar los efectos de la desnutrición en el país se han desarrollado diversas estrategias, existen esfuerzos tanto de organizaciones como UNICEF y la Organización Mundial de la Salud (OMS), así como de instituciones públicas como el Ministerio de Salud y el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), con programas como “De Cero a Siempre”, “1000 días para cambiar el mundo”, “Centros de recuperación nutricional”, para combatir la desnutrición (Gobierno de Colombia, 2018; ICBF, 2018). La mayor parte de estas se enfocan en la educación de las personas en términos de nutrición y alimentación, así como en lograr un mejor acceso de la población a alimentos más diversos y agua de calidad. No obstante, la cultura y las creencias de muchas poblaciones alejadas de las zonas rurales hace que los esfuerzos por erradicar la desnutrición sean mucho mayores (Revista Semana, 2016).

En definitiva, la desnutrición es una problemática que afecta gravemente la salud de un paciente. Especialmente en los niños genera retrasos en el crecimiento y el desarrollo cognitivo del individuo, lo que a su vez tiene graves repercusiones en el desarrollo económico y social de un país, así como en el bienestar de su población. Teniendo en cuenta la urgencia de erradicar esta enfermedad para reducir pérdidas humanas que son evitables y garantizar un mejor futuro para el país, se evidencia la necesidad de desarrollar una herramienta que permita identificar la desnutrición de los niños menores de 5 años y que además permita visualizar en tiempo real la situación nutricional de las comunidades para así garantizar que los programas y ayudas sean distribuidas de forma efectiva.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un aplicativo móvil que permita realizar un análisis de diversas variables indicativas de la desnutrición para así identificar un posible caso de esta enfermedad en pacientes pediátricos y hacer el seguimiento de la población a partir de la creación de una base de datos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un aplicativo móvil que utilizando las herramientas del celular permita procesar los parámetros relacionados con la desnutrición infantil e identificar un posible caso de esta.
- Crear una base de datos que almacene tanto variables demográficas como antropométricas de los pacientes pediátricos.
- Verificar el desempeño de la aplicación desarrollada por medio de pruebas de funcionalidad y usabilidad.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

A continuación, se listarán las aplicaciones móviles encontradas en la revisión de la literatura, que tienen un enfoque similar al desarrollado durante este trabajo. No obstante, es importante mencionar, que no todas tienen los mismos propósitos, pero si buscan resolver problemas de interés para el desarrollo de la aplicación móvil propuesta.

1.3.1.1 Aplicación de salud móvil para manejar la malnutrición aguda (Community based Management of Acute Malnutrition mobile application – CMAM)

App que ayuda al personal de la salud a realizar la evaluación de niños que padecen de malnutrición aguda. La aplicación se utilizó en Chad, Kenia, Mali, Nigeria y Afganistán entre 2014 y 2016 a través de los programas World Vision, IMC y Save the Children (Frank, 2017). Esta app fue desarrollada y evaluada para algunos países de África, por lo que cumple con las necesidades y requerimientos encontrados para estos lugares. La legislación y protocolos a seguir para realizar un diagnóstico del estado nutricional varían dependiendo de cada país, entonces esta aplicación no sería útil Colombia.

1.3.1.2 Mobile Health Applications for Pediatric Care

A pesar del aumento de apps móviles para el área de la salud sobre el cuidado pediátrico en tiendas comerciales para aplicaciones, S. Morse, M. Murugiah, Y. Soh, et al. (2017) mencionan la falta de revisiones sobre la calidad de dichas apps. Por lo anterior, en el trabajo propuesto “Mobile Health Applications for Pediatric Care” se realiza una comparación entre la Play Store de Google y la App Store de iOS, realizaron una búsqueda de la literatura disponible y para calificar la calidad se tuvieron en cuenta variables como la conexión a internet, el tamaño de la aplicación, la

información sobre la enfermedad, las herramientas de diagnóstico, las recomendaciones sobre las dosis y una herramienta que evalúa la interacción entre diferentes medicinas. Los autores concluyeron que Medscape, Skyscape e iGuideline son las apps más completas para los profesionales de la salud como referencias rápidas para el cuidado pediátrico. Además, mencionan que es necesario realizar más estudios sobre apps relacionadas a la salud. Especialmente, para el área de pediatría, pues dichos estudios son necesarios para garantizar la calidad y confiabilidad de dichas apps (Morse, Murugiah, Soh, Wong, & Ming, 2017). Las aplicaciones mencionadas anteriormente tienen un enfoque más general y no están estrictamente diseñadas para el diagnóstico de la desnutrición.

1.3.1.3 Mixed-Method Impact Evaluation of a Mobile Phone Application for Nutrition Monitoring in Indonesia

Es una evaluación realizada por World Vision Indonesia, World Vision Canada, y el Institute of Development Studies (IDS) sobre el uso de aplicaciones móviles para monitorear la nutrición de poblaciones y el crecimiento de los niños, mencionan que la app móvil aumenta la exactitud y mejora la oportunidad del monitoreo de crecimiento (Barnett et al., 2016).

1.3.1.4 Health App Use Among US Mobile Phone Owners: A National Survey

El trabajo fue realizado porque los autores mencionan que a pesar del constante uso que se le da a las aplicaciones móviles, poco se conoce en términos de mediciones, como el porcentaje de la población que hace uso de aplicaciones enfocadas a la salud, razones para utilizarlas o para tener un uso irregular. El estudio tenía como objetivo examinar el uso de una aplicación móvil sobre salud entre los usuarios de los teléfonos en EE.UU. Para el estudio, se realizó una encuesta de 1604 usuarios. Se concluyó que, aunque muchos individuos utilizan apps relacionadas al área de la salud, también hay una cantidad substancial de la población que no las utiliza o deja de utilizarlas. Los datos sugieren que los desarrolladores de aplicaciones deben enfocarse aún más en las necesidades de los consumidores, como el costo y una entrada de datos compleja, así como que se necesitan más ensayos clínicos para evaluar la eficiencia de las apps de la salud (Krebs & Duncan, 2015).

1.3.1.5 Mobile Health Applications for the Most Prevalent Conditions by the World Health Organization: Review and Analysis

El artículo tenía como objetivo estudiar aplicaciones móviles existentes dedicadas a las ocho condiciones sanitarias más predominantes (2004) según la Organización Mundial de la Salud, que son: pérdida de la audición, migraña, baja visión, asma, diabetes mellitus, osteoartritis,

anemia por deficiencia de hierro y trastornos depresivos unipolares. Se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura en una variedad de artículos donde se mencionaba el desarrollo de apps. Los autores concluyen que la cantidad de aplicaciones disponibles no es equitativa para todas las enfermedades, pues algunas enfermedades como diabetes y depresión tienen una cantidad exagerada de apps e investigaciones relacionadas, y otras como anemia, baja visión o pérdida de la audición tienen muy pocas apps, por lo que mencionan la importancia de balancear el desarrollo de apps para que sea más equitativo y efectivo (Martínez-Pérez, de la Torre-Díez, & López-Coronado, 2013).

1.3.1.6 MUST

“Malnutrition Universal Screening Tool” fue desarrollada por el Malnutrition Advisory Group (MAG) un comité permanente de la British Association for Parenteral and Enteral Nutrition y fue lanzada en 2003. Su propósito era identificar adultos con un peso insuficiente y en riesgo de malnutrición, así como a los obesos. (Todorovic, Russell, & Elia, 2012).

“Se comprobó que el ‘MUST’ era un instrumento sencillo, rápido, reproducible y con coherencia interna para clasificar a los pacientes respecto a su riesgo de malnutrición” (Todorovic et al., 2012).

1.3.1.7 Development of Smartphone Applications for Nutrition and Physical Activity Behavior Change

El trabajo realizado describe el proceso de desarrollo de cuatro aplicaciones móviles para informar sobre comportamientos claves asociados al aumento de peso de jóvenes adultos, incluyendo actividad física y consumo de comidas rápidas, frutas y vegetales, y bebidas azucaradas. Los autores concluyen que las aplicaciones móviles pueden ser un medio innovador para generar cambios individuales de comportamiento, sin embargo, los investigadores resaltan la importancia de tener un público objetivo definido, tecnología disponible, aplicaciones comerciales ya existentes y que la posibilidad de que las personas hagan uso de las aplicaciones es irregular y a corto plazo (Hebden, Cook, van der Ploeg, & Allman-Farinelli, 2012). El alcance de este trabajo de grado es solo diagnóstico de la desnutrición, pero a futuro se podría buscar realizar complementos a la app como los presentados anteriormente, con recomendaciones nutricionales y de comportamientos necesarios para llevar una vida más saludable.

1.3.1.8 Patient permission-based mobile health-linked information collection and exchange systems and methods

Es un dispositivo que recolecta datos médicos de forma objetiva, los procesa y controla el progreso de un individuo que fue diagnosticado de

una enfermedad en relación con individuos similares (US20140257047A1, 2014).

1.3.2 Marco teórico

1.3.2.1 Malnutrición

Se refiere a las carencias, los excesos y los desequilibrios de la ingesta calórica y de nutrientes de una persona (OMS, 2017a). Abarca tres grandes grupos de afecciones:

1. La desnutrición, que incluye la emaciación (un peso insuficiente respecto de la talla), el retraso del crecimiento (una talla insuficiente para la edad) y la insuficiencia ponderal (un peso insuficiente para la edad) (OMS, 2017a).
2. La malnutrición relacionada con los micronutrientes, que incluye las carencias de micronutrientes (la falta de vitaminas o minerales importantes) o el exceso de micronutrientes (OMS, 2017a).
3. El sobrepeso, la obesidad y las enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación (como las cardiopatías, la diabetes y algunos cánceres) (OMS, 2017a).

1.3.2.1.1 Desnutrición

Estado patológico resultante de una dieta deficiente en uno o varios nutrientes esenciales o de una mala asimilación de los alimentos. Es el resultado del consumo insuficiente de alimentos y de la aparición repetida de enfermedades infecciosas. La desnutrición implica tener un peso corporal menor a lo normal para la edad, tener una estatura inferior a la que corresponde a la edad (retraso en el crecimiento), estar peligrosamente delgado o presentar carencia de vitaminas y/o minerales. Aunque normalmente se menciona a la pobreza como la causa principal de la desnutrición, existen otras causas tan importantes como ésta, tales como la no lactancia materna exclusiva, la presencia de enfermedades como diarrea, infecciones respiratorias agudas, y otras; la falta de educación y de información sobre la buena o adecuada alimentación, el no consumo de suplementos vitamínicos o alimentos fortificados, y el costo de los alimentos (OMS, 2017a).

1.3.2.1.1.1 Signos Clínicos

Según Ravasco, Anderson, Mardones y la Red de Malnutrición en Iberoamérica del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red Mel-CYTED) (2010) los signos clínicos de la desnutrición son:

- Enflaquecimiento del tórax, segmentos proximales de los miembros y edemas de los segmentos distales.
- Piel: áspera, seca, fría, sin brillo, descamación, lesiones pelagrosas, eritema, despigmentación con hiperpigmentación de los bordes.
- Cabello: queratosis folicular. Cabellos finos, secos, quebradizos, alopecia.
- Uñas: finas, quebradizas, sin brillo, crecen poco.
- Mucosas: lengua con glositis de color rojo vivo por carencia de ácido nicotínico o de color violeta por déficit de riboflavina.
- Ojos: alteración de la conjuntiva, córnea: manchas, queratomalacia, úlceras, xeroftalmia: deficiencia de complejo B y vitamina A y C.
- Compromiso del sistema circulatorio, presentan hipotensión y disminución de la frecuencia cardíaca.
- Enflaquecimiento que se observa principalmente en las mejillas, la pared abdominal y la cintura escapular y pelviana. La pérdida de grasa provoca ojos hundidos, mejillas deprimidas (facies de viejo o de Voltaire). A nivel de prominencias óseas, la piel aparece delgada y brillante y hasta con ulceraciones que se infectan y son difíciles de mejorar. Masa y tono muscular reducidos.
- Hay un compromiso del estado psíquico, por lo general es irritable e intranquilo, o apático y somnoliento.
- Pulso difícil de detectar (escasa tensión, irregularidad).
- Infecciones frecuentes (Ravasco, Anderson, Mardones, & Red de Malnutrición en Iberoamérica del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red Mel-CYTED), 2010).

1.3.2.1.1.2 Tipos de desnutrición

1.3.2.1.1.2.1 Emaciación

La insuficiencia de peso respecto de la talla suele indicar una pérdida de peso reciente y grave, debida a que la persona no ha comido lo suficiente y/o a que tiene una enfermedad infecciosa, como la diarrea, que le ha provocado la pérdida de peso. Un niño pequeño que presente una emaciación moderada o grave tiene un riesgo más alto de morir, pero es posible proporcionarle tratamiento (OMS, 2017a).

1.3.2.1.1.2.2 Retraso del crecimiento

La talla insuficiente respecto de la edad. Es consecuencia de una desnutrición crónica o recurrente, por regla general asociada a unas condiciones socioeconómicas deficientes, una nutrición y una salud de la madre deficientes, a la recurrencia de enfermedades y/o a una alimentación o unos cuidados no apropiados para el lactante y el niño pequeño. El retraso del crecimiento impide que los niños desarrollen plenamente su potencial físico y cognitivo (OMS, 2017a).

1.3.2.1.1.2.3 Insuficiencia ponderal

Un peso inferior al normal. Bajo peso para el primer año de vida es de aproximadamente 2 kg por debajo del estándar, 3 kg por debajo del estándar para las edades de dos y tres, y 4 kg por debajo del estándar para las edades de cuatro y cinco. Esta estadística es un indicador del estado nutricional de una comunidad. Los niños que sufren insuficiencia ponderal como consecuencia de mala alimentación o infecciones recurrentes tienden a tener un mayor riesgo de sufrir enfermedades y muerte (OMS, 2017a).

1.3.2.1.1.2.4 Carencias de vitaminas y minerales

Según indica un informe publicado por UNICEF y la Iniciativa Micronutrientes, debido a la carencia de vitaminas y minerales, un alto porcentaje de la población mundial no desarrolla correctamente todo su potencial físico e intelectual. Algunos cuya deficiencia tiene graves implicaciones son:

- La deficiencia de hierro que “compromete el desarrollo intelectual en los niños y está reduciendo el coeficiente intelectual en muchos países” (OMS, 2017a; UNICEF, 2011).
- En los países en desarrollo, el sistema inmunológico de aproximadamente el 40% de los niños menores de cinco años se ve afectado por la carencia de Vitamina A. La ausencia de esta vitamina implica la muerte de 1 millón de niños y niñas cada año (OMS, 2017a; UNICEF, 2011).
- Cada año hasta 20 millones de bebés nacen con discapacidad mental debido a la deficiencia de yodo durante el embarazo (OMS, 2017a; UNICEF, 2011).

1.3.2.1.1.3 Clasificación de la desnutrición

1.3.2.1.1.3.1 Desnutrición Aguda

Deficiencia de peso para altura (P/A). Delgadez extrema. Resulta de una pérdida de peso asociada con periodos recientes de hambruna o enfermedad que se desarrolla muy rápidamente y es limitada en el tiempo (UNICEF, 2011).

1.3.2.1.1.3.2 Desnutrición crónica

Retardo de altura para la edad (A/E). Asociada normalmente a situaciones de pobreza, con consecuencias para el aprendizaje y menos desempeño económico (UNICEF, 2011).

1.3.2.1.1.3.3 Desnutrición global

Deficiencia de peso para la edad. Insuficiencia ponderal. Índice compuesto de los anteriores ($P/A \times A/E = P/E$) que se usa para dar seguimiento a los Objetivos del Milenio (UNICEF, 2011).

1.3.2.1.1.4 Diagnóstico

1.3.2.1.1.4.1 Índices antropométricos

Los índices antropométricos son combinaciones de mediciones que resultan esenciales para la interpretación de estas, pues por si solas carecen de sentido. En el niño las medidas más utilizadas son: peso, talla, circunferencia cefálica y circunferencia media del brazo izquierdo, pliegues cutáneos, tricipital y subescapular, área grasa y área muscular. Con estos datos, se calculan una variedad de indicadores que no solo reflejan las dimensiones sino también la composición corporal y que pueden ser comparados con valores de referencia establecidos previamente (Ravasco et al., 2010).

En los niños los tres índices antropométricos más usados son el peso para la talla, la talla para la edad y el peso para la edad. Es posible expresar los índices antropométricos en términos de puntuaciones z, percentiles o porcentajes de la mediana, que se pueden usar para comparar a un niño o un grupo de niños con una población de referencia (Comité Expertos de la OMS sobre el Estado Físico, 1983).

Uno de los indicadores objetivos de diagnóstico del estado nutricional es la evaluación antropométrica, que supone la medición de las dimensiones y la composición global del cuerpo humano. Los indicadores antropométricos miden el crecimiento físico del niño y del adolescente. Adicionalmente, son de fácil aplicación, bajo costo y son reproducibles sin importar el lugar o la persona (Ravasco et al., 2010).

- **Índice de Masa Corporal (IMC)**

Según Ravasco, Anderson, Mardones y la Red de Malnutrición en Iberoamérica del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red Mel-CYTED) (2010). El IMC es el indicador antropométrico más utilizado, aunque no necesariamente el más preciso, se calcula de la siguiente forma:

$$IMC = \frac{Peso}{Talla^2}$$

- A nivel poblacional si el IMC < 18.5:
 - Cuando la prevalencia de la población con IMC <18.5 está entre 5 a 9%: Riesgo bajo.
 - Cuando la prevalencia de la población con IMC <18.5 está entre el 10 a 19%: Riesgo moderado.
 - Cuando la prevalencia de la población con IMC <18.5 es mayor o igual al 20%: Riesgo Alto.
- A nivel individual, se considera signo de alerta cuando:
 - El IMC de normalidad varía en $\pm 1,5$ entre dos controles consecutivos mensuales.
 - Cuando el valor del IMC se aproxima a los valores límites de la normalidad.
 - Pérdida de peso menor a 1 kg en 2 semanas.
 - Cambio de clasificación de IMC en sentido opuesto a la normalidad (Ravasco et al., 2010).

- **Peso para la edad (P/E)**

Relación entre el peso de un individuo a una edad determinada y la referencia para su misma edad y sexo. Se utiliza para diagnosticar y cuantificar desnutrición actual o aguda (Ravasco et al., 2010).

- **Peso para la talla (P/T)**

Relación que puede existir entre el peso obtenido de un individuo de una talla determinada y el valor de referencia para su misma talla y sexo. Es más específico para el diagnóstico de desnutrición actual en niños de 2 a 10 años (Ravasco et al., 2010).

- **Talla para la edad (T/E)**

Relación entre la talla de un individuo y la referencia para su misma edad y sexo. Se emplea para el diagnóstico de desnutrición crónica (Ravasco et al., 2010).

- **Circunferencia del brazo para la edad (CB/E)**

Expresa la relación entre la circunferencia del brazo de un individuo y la referencia para su edad y sexo. Es un indicador compuesto de reserva calórica y proteica (Ravasco et al., 2010).

- **Circunferencia cefálica para la edad (CC/E)**

Indicador de gran importancia en niños menores de 3 años de edad y su déficit refleja desnutrición de larga evolución (Ravasco et al., 2010).

La OMS ha proporcionado una serie de tablas para realizar la evaluación nutricional con valores de referencia y distribución percentil utilizando los indicadores P/E, T/E, P/T que permiten situar al niño o adolescente según la intensidad de la malnutrición tanto por déficit como por exceso, estas tablas son utilizadas a nivel mundial (WHO, 2006).

Se debe resaltar que la valoración nutricional es esencial desde muchas perspectivas, siendo la de mayor interés para este trabajo la desnutrición en los niños menores a cinco años. En esta etapa de la vida, dicha enfermedad, incrementa el riesgo de muerte, inhibe el desarrollo cognitivo y afecta la salud de por vida. De acuerdo a lo anterior, una evaluación nutricional permitiría brindarle una atención nutricional temprana a esta población y evitar los efectos que son, en gran medida, irreversibles y se relacionan estrechamente con la extrema pobreza de una sociedad (Ravasco et al., 2010).

De acuerdo a la resolución 2465 de 2016 y como se mencionó anteriormente, en una revisión pediátrica habitual, se tienen en cuenta el peso, la estatura, el perímetro del brazo y el perímetro cefálico, para luego calcular indicadores como: la talla para la edad, el peso para la edad, el peso para la talla y el IMC, como se puede observar en la Tabla 1 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

Tabla 1. Clasificación antropométrica del estado nutricional para niñas y niños menores de 5 años, según indicador y puntos de corte (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

Indicador	Punto de Corte (desviaciones estándar DE)	Clasificación antropométrica	Tipo de uso
Peso para la Talla (P/T)	> +3	Obesidad	Individual y poblacional
	> +2 a ≤ +3	Sobrepeso	
	> 1 a ≤ 2	Riesgo de Sobrepeso	
	≥ -1 a ≤ 1	Peso Adecuado para la Talla	
	≥ -2 a < -1	Riesgo de Desnutrición Aguda	
	< -2 a ≥ -3	Desnutrición Aguda Moderada	
	< -3	Desnutrición Aguda Severa	
Talla para la Edad (T/E)	≥ -1	Talla Adecuada para la Edad	
	≥ -2 a < -1	Riesgo de Talla Baja	
	< -2	Talla baja para la edad o Retraso en Talla	
Perímetro Cefálico para la Edad (PC/E)	> 2	Factor de Riesgo para el Neurodesarrollo	
	≥ -2 a ≤ 2	Normal	
	< -2	Factor de Riesgo para el Neurodesarrollo	
IMC para la Edad (IMC/E)	> 3	Obesidad	Poblacional
	> 2 a ≤ 3	Sobrepeso	
	> 1 a ≤ 2	Riesgo de Sobrepeso	
	≤ 1	No aplica (Verificar con P/T)	
Peso para la Edad (P/E)	> +1	No aplica (Verificar con IMC/E)	
	≥ -1 a ≤ 1	Peso Adecuado para la Edad	
	≥ -2 a < -1	Riesgo de Desnutrición Global	
	< -2	Desnutrición Global	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.3.2.1.1.4.2 Medición del perímetro braquial (MUAC por sus siglas en inglés)

Con la ayuda de una cinta de 250 mm de largo, debe tomarse la longitud del brazo izquierdo y en la mitad, con dicho brazo relajado, debe medirse el perímetro del brazo (sin ejercer presión sobre el brazo, pero con la cinta tensionada). De acuerdo con los estándares propuestos por la OMS, en una población bien nutrida hay una baja cantidad de niños entre los 6 y 60 meses de edad con un perímetro braquial menor a 115 mm, los niños con un perímetro braquial menor a 115 mm tienen un alto riesgo de morir. Sin embargo, hay otros valores importantes para tener en cuenta. En la Figura 2 (a) y (b) se puede observar el aspecto de la herramienta. También puede apreciarse como se utiliza, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

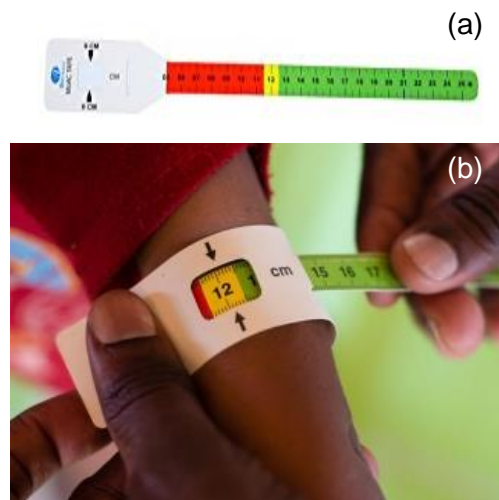


Figura 2. (a) Cinta MUAC (Flipkart, 2018). (b) Ejemplo de cómo se utiliza (Doctors without borders, 2013).

- Menor a 11.0 cm: **ROJO**, indica malnutrición severa aguda. El paciente debe ser tratado inmediatamente.
- Entre 11.0 cm y 12.5 cm: **ROJO** (en una cinta de 3 colores) o **NARANJA** (en una cinta de cuatro colores), indica malnutrición aguda moderada. El paciente debe ser sometido a tratamiento inmediato.
- Entre 12.5 cm y 13.5 cm: **AMARILLO**, indica que el paciente está en riesgo de adquirir malnutrición aguda y debe ser monitoreado.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Mayor a 13.5 cm: **VERDE**, indica que el paciente está en buen estado de salud (Mother and Child Nutrition, 2017; WHO, 2006).

1.3.2.1.1.4.3 Uso de los estándares propuestos por la OMS

La OMS publicó un informe en el cual se desarrollaron una variedad de estándares y tablas que pueden utilizarse como guías y referencias para determinar el estado nutricional de un paciente pediátrico. Este nuevo estándar internacional de crecimiento y desarrollo de la OMS difiere de cualquier otro patrón de referencia existente ya que, por primera vez, cuenta con todos los datos de mediciones reales, no realizados con cálculos matemáticos, refleja la manera en que debería crecer un niño durante sus primeros años de vida. Los resultados obtenidos en los niños de diferentes entornos étnicos, culturales y genéticos no mostraron diferencias en el crecimiento, por el contrario, este patrón no solo resulta como referencia de comparabilidad internacional, sino como instrumento local en todos los países. Esta publicación tiene en cuenta los índices antropométricos básicos y los relaciona con la edad del paciente para determinar los valores normales a tener en cuenta en un diagnóstico (UNICEF, 2012; WHO, 2006).

1.3.2.1.1.4.4 Métodos de valoración nutricional

La valoración nutricional es una metodología que tiene como objetivos:

- Medir la composición corporal del sujeto.
- Analizar los indicadores bioquímicos asociados con malnutrición:
 - Proteína visceral
 - Albúmina
 - Prealbúmina
 - Proteína ligada al retinol
 - Transferrina
 - Somatomedina
 - Proteína somática
 - Creatinina
 - Excreción de 3-metilhistidina
 - Balance Nitrogenada

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Valorar si la ingesta dietética es adecuada.
- Valorar la funcionalidad del sujeto.
- Realizar el diagnóstico del estado nutricional.
- Identificar a los pacientes que pueden beneficiarse de una actuación nutricional.
- Valorar posteriormente la eficacia de un tratamiento nutricional.
- Determinar los signos y síntomas clínicos que indiquen posibles carencias o excesos de nutrientes.

Para ello, debe incluir tres aspectos muy importantes: una valoración global, un estudio de la dimensión y una composición corporal. De acuerdo al artículo publicado por Red-Mel CYTED llamado “Métodos de valoración nutricional”, la desnutrición puede ser clasificada tanto cualitativa como cuantitativamente (Ravasco et al., 2010). Las clasificaciones cualitativas de la desnutrición son:

1.3.2.1.1.4.4.1 Clasificación cuantitativa de la desnutrición

Para la clasificación cuantitativa se calcula el Peso / Peso Ideal (P/PI) tras una valoración objetiva y se obtiene el Peso de Referencia (%) para el cual se considera:

- Normal

$P/PI > 90\%$ del normal (Ravasco et al., 2010).

- Desnutrición leve

$80\% < P/PI < 90\%$ del normal (Ravasco et al., 2010).

- Desnutrición moderada

$60\% < P/PI < 79\%$ del normal (Ravasco et al., 2010).

- Desnutrición grave

$P/PI < 60\%$ del normal (Ravasco et al., 2010).

1.3.2.1.1.4.4.2 Clasificación cualitativa de la desnutrición

1.3.2.1.1.4.4.2.1 Desnutrición oculta

A pesar del acceso a una alimentación saludable, existe una dieta inadecuada, principalmente dada por un bajo consumo de vegetales y frutas. En los niños la falta de nutrientes surge cuando los alimentos ingeridos son hipercalóricos, pero son deficientes en otros nutrientes fundamentales para el crecimiento, como el hierro, el calcio, el fósforo o las vitaminas A y C.

1.3.2.1.1.4.4.2.2 Marasmo o Desnutrición calórica

Desnutrición crónica por déficit prolongado de energía y nutrientes. Existe importante disminución de peso por pérdida de tejido adiposo, en menor cuantía de masa muscular y sin alteración significativa de las proteínas viscerales, ni edemas.

1.3.2.1.1.4.4.2.3 Kwashiorkor o Desnutrición proteica

En esta hay una disminución del aporte proteico o aumento de los requerimientos en infecciones graves, politraumatismos y cirugía mayor. El panículo adiposo está preservado, siendo la pérdida fundamentalmente proteica, principalmente visceral (Ravasco et al., 2010).

1.3.2.1.1.4.4.2.4 Desnutrición mixta o proteico-calórica grave o Kwashiorkor - marasmático

Disminuye la masa muscular, tejido adiposo y proteínas viscerales. Aparece en pacientes con desnutrición crónica previa tipo marasmo (generalmente por enfermedad crónica) que presentan algún tipo de proceso agudo productor de estrés (cirugía, infecciones) (Ravasco et al., 2010).

1.3.2.1.1.4.4.2.5 Estados carenciales

Deficiencia aislada de algún nutriente (oligoelementos o vitaminas), por disminución de ingesta o pérdida aumentada. Generalmente se asocia alguno de los tipos anteriores (Ravasco et al., 2010).

1.3.2.1.1.5 Tratamiento

El tratamiento depende del tipo específico de desnutrición que padece el paciente, usualmente consiste en reemplazar o proveerle al paciente los nutrientes faltantes en su dieta, así como el tratamiento específico de algunos

síntomas derivados como la hinchazón, mareos, fatiga y la pérdida de peso (The New York Times, 2013).

En niños con malnutrición severa aguda, la OMS propone una tabla (ver Tabla 2) con pasos a seguir:

Tabla 2. Manejo de la malnutrición severa aguda (WHO, 2006)

Manejo de la malnutrición severa aguda		
Criterios independientes adicionales	Sin apetito	Con apetito
	Complicaciones medicas	Complicaciones médicas
Tipo de alimentación terapéutica	En las instalaciones hospitalarias	En la comunidad
Intervención	F75→ F100/ATLU y cuidado médico 24 horas	ATLU, cuidado médico básico
Criterios de alta	Edema reducido	Aumento de peso entre 15% a 20%
	Buen apetito (con un consumo aceptable de ATLU)	

*ATLU: *Alimento Terapéutico Nutricional Listo para el Uso*.

1.3.2.1.1.6 Pronóstico

El resultado luego de aplicar un tratamiento depende de la causa de desnutrición. La mayoría de las deficiencias pueden ser corregidas si son tratadas a tiempo. No obstante, si la causa es otra condición médica, dicha enfermedad debe ser tratada para revertir las deficiencias nutricionales del paciente (The New York Times, 2013).

1.3.2.2 Inseguridad Alimentaria

“La inseguridad alimentaria es una situación en la que las personas carecen de acceso seguro a una cantidad de alimentos suficientes para su desarrollo y para poder llevar una vida activa y sana” (Nocetti, 2015).

1.3.2.2.1 Tipos de inseguridad alimentaria

1.3.2.2.1.1 Crónica

“Se presenta a largo plazo o de manera persistente. Las personas no tienen la capacidad de satisfacer sus necesidades alimentarias mínimas durante un

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

período prolongado. Generalmente se da por la falta de acceso a recursos productivos o financieros o largos periodos de pobreza“ (Nocetti, 2015).

1.3.2.2.1.2 Estacional

Es un punto medio entre la crónica y la transitoria. Es similar a la crónica debido a que se puede predecir y sigue una serie de eventos conocidos; sin embargo, tiene una duración limitada y ocurre cuando se desarrolla un patrón en la falta de disponibilidad y acceso a los alimentos. Se puede desarrollar con el cambio climático, por los patrones de las cosechas, la demanda laboral o las enfermedades (Nocetti, 2015).

1.3.2.2.1.3 Transitoria

Es a corto plazo y es temporal. Se da por una caída repentina en la capacidad de producir o acceder a una cantidad de alimentos suficiente para mantener un buen estado nutricional. Generalmente se da por cambios en la disponibilidad y acceso a los alimentos, por variaciones en la producción, los precios o los ingresos (Nocetti, 2015).

1.3.2.3 Prueba de funcionalidad

Una prueba de funcionalidad sirve para evaluar si una herramienta desarrollada realiza el trabajo deseado por el usuario. En otras palabras, evalúa que tan funcional es una herramienta con respecto a otras. Las pruebas de diagnóstico son un tipo de prueba de funcionalidad (Lacalle, 2008).

1.3.2.3.1 Prueba de pruebas o prueba de diagnóstico

Una prueba de diagnóstico es un test para evaluar la presencia o ausencia de una enfermedad en un individuo. Una buena prueba diagnóstica es aquella que ofrece resultados positivos en enfermos y negativos en sanos (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010). El tipo de estudio más utilizado para evaluar las pruebas diagnósticas es el diseño transversal (Varios Autores, 2001).

1.3.2.3.1.1 Estudio descriptivo transversal

Es un procedimiento de investigación sin continuidad en el eje del tiempo, con este es posible estimar la prevalencia de la enfermedad. De acuerdo con el capítulo 7 del libro Epidemiología y estadística en salud pública, el estudio descriptivo transversal “tiene como fin estimar la magnitud y distribución de una enfermedad o condición de salud (variable dependiente) en un momento dado, además de medir otras características en los individuos de la población, como pueden ser las variables epidemiológicas relativas a las dimensiones de tiempo, lugar y persona (variables independientes)” (Villa Romero, Moreno Altamirano, & García de la Torre, 2012). En esta prueba se seleccionan dos

grupos de individuos, un grupo que padece la enfermedad y otro sano, y se comparan los resultados obtenidos con la nueva prueba diagnóstica en dichos individuos con un gold standard (criterio de referencia o patrón de referencia) (Varios Autores, 2001).

1.3.2.3.2 Validez

Es el grado en que una prueba mide lo que se supone que debe medir. La sensibilidad y especificidad se utilizan para valorar la validez de una prueba diagnóstica (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

1.3.2.3.2.1 Sensibilidad

Es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo enfermo, es decir, la probabilidad de que para un sujeto enfermo se obtenga en la prueba un resultado positivo (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

1.3.2.3.2.2 Especificidad

Es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo sano, es decir, la probabilidad de que para un sujeto sano se obtenga en la prueba un resultado negativo (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

1.3.2.3.3 Seguridad

Es la probabilidad de que el individuo esté realmente enfermo o sano, ante un resultado positivo o negativo en la prueba. Está determinada por los valores predictivos positivos o negativos. Depende de la prevalencia de la enfermedad. Es útil para medir la relevancia de la sensibilidad y especificidad en una población (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

1.3.2.3.3.1 Valor predictivo positivo

Es la probabilidad de presentar una enfermedad si se obtiene un resultado positivo en la prueba (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

1.3.2.3.3.2 Valor predictivo negativo

Es la probabilidad de estar sano si se obtiene un resultado negativo en la prueba (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

1.3.2.3.4 Utilidad

Mide cuánto más probable es un resultado concreto (positivo o negativo) según la presencia o ausencia de enfermedad (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010). En otras palabras, compara la probabilidad de obtener un determinado resultado en un individuo que presente la enfermedad, con la de obtenerlo en un sujeto en el que se ha descartado la presencia de la

misma (Varios Autores, 2001). No varía con los cambios en la prevalencia de la enfermedad.

1.3.2.3.4.1 Cociente de probabilidad positivo

Es la razón entre la probabilidad de que un examen tenga resultado positivo en los pacientes que tienen la enfermedad y los que no la tienen (Medina, 2011).

1.3.2.3.4.2 Cociente de probabilidad negativo

Es la razón entre la probabilidad de que un examen tenga resultado negativo en los pacientes que tienen la enfermedad y los que no la tienen (Medina, 2011).

1.3.2.4 Prueba de usabilidad

El estándar ISO 9241-11 define la usabilidad como “La medida en que un producto pueda ser usado por usuarios específicos para alcanzar metas específicas con efectividad, eficacia y satisfacción en un contexto específico de uso” (ISO, 2008). Esta definición ha sido aceptada ampliamente por la comunidad científica. Existen muchas alternativas para medir la usabilidad de la Interacción Humano - Computador. No obstante, y como es mencionado en el reporte Pruebas de Usabilidad Flexibles para Aplicaciones Móviles, “la usabilidad no se ha definido de manera consistente a través de estos estándares y modelos, no se define una guía precisa sobre los atributos, métricas y reglas a utilizar en la medición de usabilidad de una aplicación, tampoco de cómo seleccionar y medir aspectos de la misma” (Enriquez & Casas, 2014).

2 METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo de grado, se elaboró un procedimiento metodológico. A continuación, se describen las etapas, técnicas y métodos que fueron utilizados para llevar a cabo dicho trabajo.

2.1 OBJETIVO 1: Diseñar un aplicativo móvil que permita determinar si un paciente pediátrico sufre de desnutrición

En la actualidad, hay una variedad de propuestas para la metodología que se debe seguir para el desarrollo de aplicativos móviles. En este caso, se utilizó la propuesta descrita en el artículo de la página web Codementor, donde se describen un conjunto de pasos a seguir para diseñar una aplicación móvil desde cero (Codementor Team, 2015). A continuación, se describe cada una de ellas, siendo estas etapas complementadas dependiendo de las necesidades específicas que surgieron durante el desarrollo de esta aplicación.

2.1.1 Recopilación bibliográfica

Inicialmente, se realizó una consulta bibliográfica con el fin de determinar si ya existen herramientas o aplicativos móviles que permitan generar el diagnóstico de un posible caso de un paciente con desnutrición. A partir de esta búsqueda se encontraron una variedad de proyectos y herramientas con un enfoque similar al de este trabajo de grado. Esta información fue obtenida mediante el uso de bases de datos en revistas científicas y literatura relacionada a la telemedicina.

A partir de la información encontrada y teniendo en cuenta las limitaciones del proyecto, se tomó la determinación de utilizar el sistema operativo iOS para el desarrollo de la aplicación móvil. Esto por cuestiones de accesibilidad durante el desarrollo, ya que no se contaba con dispositivos Android a la mano para realizar pruebas en estos.

2.1.2 Definición de las funcionalidades básicas de la aplicación móvil

Las funciones que desempeñará la aplicación móvil definirán todos los procesos que deberá realizar y por ende enmarcarán todo el trabajo que se llevará a cabo para su desarrollo. Por lo tanto, este paso implica definir funciones concretas para así luego trazar un plan a seguir (Cuello & Vittone, 2013b).

2.1.3 Proponer un esquema de la estructura y la apariencia de la app

En esta etapa se deben concretar aspectos más específicos sobre el desarrollo de la app como lo es el diagrama de flujo, la definición de un lenguaje de programación y la interfaz gráfica.

Específicamente para esta aplicación móvil, se realiza un análisis sobre las diferentes alternativas para realizar mediciones antropométricas utilizando los periféricos del dispositivo que se encuentran disponibles, como la cámara, esto porque la capacidad para realizar mediciones mediante el celular es un aspecto clave que afecta directamente la estructura y el diseño de esta app.

2.1.3.1 Diagrama de flujo y diagrama de clases

El diagrama de flujo resulta útil a la hora de comprender la conexión entre varias vistas y como los diferentes usuarios pueden navegar dentro de la app, incluyendo todas las acciones que estos pueden realizar y el resultado que se obtiene con cada interacción.

El diagrama de clases permite visualizar las clases, métodos y objetos que fueron utilizados en el programa para el desarrollo de la app. Permite entender más claramente cómo funciona la aplicación móvil y como fue desarrollada.

2.1.3.2 Definición de un entorno y lenguaje de programación en iOS

El lenguaje de programación para desarrollar una aplicación móvil depende directamente del sistema operativo a utilizar. En este caso, para el sistema operativo iOS los lenguajes comúnmente usados son Objective-C y Swift (Alarcón, 2015). Ambos son alternativas viables para el desarrollo de apps. Swift es un nuevo lenguaje de alto nivel basado en Objective-C que busca subsanar algunos problemas de seguridad que se presentan con el último y que en gran medida ha reemplazado el uso de Objective-C (Cazorla, 2015).

2.1.3.3 Diseño de la interfaz gráfica

Aunque la interfaz gráfica no es tan relevante técnicamente, esta tiene gran importancia para el usuario, pues este aspecto de la herramienta afecta directamente su experiencia e interacción con ella. Por esta razón, es clave elegir una apariencia colorida, entretenida e interesante (Cuello & Vittone, 2013a).

2.1.3.4 Alternativas para realizar las mediciones antropométricas de interés del paciente

Es importante mencionar que en muchos casos puede que no se disponga de las herramientas necesarias para realizar una medición de estatura, perímetro cefálico o perímetro del brazo. Por ello, se propone que el usuario pueda realizar cualquiera de las mediciones anteriores con la app.

Hay una variedad de alternativas para realizar las mediciones correspondientes del paciente y determinar un posible caso de desnutrición. Las opciones que se consideraron para el desarrollo de este trabajo son realidad aumentada, inteligencia artificial, procesamiento de imágenes con OpenCV y procesamiento de imágenes por medio de recortes. Cada una de ellas tiene tanto ventajas como desventajas y no deben ser descartadas inmediatamente sin antes realizar un análisis que permita seleccionar la más conveniente en términos de tiempo, funcionalidad y simplicidad. Para este trabajo se seleccionó la alternativa de procesamiento de imágenes por medio de recortes de la imagen.

2.1.3.4.1 Realidad aumentada

La realidad aumentada consiste en añadirle información visual al mundo real, de ahí su nombre, pues combina la realidad con información o animaciones que realmente no están ahí. Un ejemplo de esto es el juego Pokemon Go, donde el jugador puede ver el mundo real a través de su cámara pero adicionalmente ve objetos u animaciones que realmente no están ahí (BBC News Mundo, 2016). Esta es una estrategia muy utilizada para realizar diversas medidas con un iPhone y puede ser implementada fácilmente ya que existen una gran variedad de ayudas en el tema. No obstante, la mayoría de los iPhones no tienen la capacidad para procesar apps de realidad aumentada. De acuerdo con lo anterior, se tomó la determinación de no utilizar esta herramienta, para así garantizar que una mayor cantidad de celulares puedan procesar la app desarrollada.

2.1.3.4.2 Inteligencia Artificial

Otra alternativa para realizar medidas en un dispositivo iOS es hacer uso de la inteligencia artificial. "La inteligencia artificial es la ciencia de hacer que los computadores aprendan y actúen de la misma forma en que lo hacen los humanos, y que mejoren su aprendizaje a lo largo del tiempo de forma autónoma, al proporcionarles datos e información en forma de observaciones e interacciones del mundo real" (Fagella, 2018). Esto puede implementarse a través de modelos pre-entrenados, que permiten identificar variables relevantes en una imagen y tomar decisiones a partir de la información recolectada. No obstante, para un caso tan específico como la desnutrición infantil no existen modelos pre-entrenados, lo que implica

que se debe realizar el entrenamiento de este. En otras palabras, habría que tomar una cierta cantidad de fotos de niños de diferentes edades que padecen desnutrición, así como niños sanos y entrenar el programa para que este pueda distinguir las características físicas que permiten determinar un posible caso de desnutrición en un paciente infantil. Lo anterior puede ser un proceso complejo y largo que no garantiza resultados exitosos debido a que se tiene poca experiencia. Por esto, se recurrió a otras alternativas más sencillas, que consumen menos tiempo y que no involucren la adquisición de datos de pacientes menores de edad con desnutrición.

2.1.3.4.3 Procesamiento de imágenes con OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) (Intel Corporation, Willow Garage, & Itseez, 2018) es una librería muy utilizada en el área de visión artificial para realizar el procesamiento de imágenes mediante funciones como binarización, identificación de patrones, contornos, filtros, entre otras técnicas. Esta librería puede integrarse con Xcode (Apple, 2018). Sin embargo, la programación debe realizarse no solo en Swift sino también en Objective C, pues todo lo concerniente al procesamiento de la imagen, debe ser programado en este último. La ventaja más evidente del uso de esta herramienta es que la identificación de los marcadores dentro de la imagen y la medida del perímetro braquial y la estatura pueden ser realizadas automáticamente sin ninguna interferencia por parte del usuario, lo que implica que el error en la medición debido al usuario es muy bajo. No obstante, el programa tendrá un error inherente debido al procesamiento mismo de la información que puede ser igual o mayor al humano, y que depende directamente de qué tan robusto sea el programa.

2.1.3.4.4 Procesamiento de imágenes por medio de recortes de la imagen

El objetivo en este caso es encontrar una relación entre píxeles y milímetros. Esto se realiza mediante el recorte de un marcador de medidas conocidas dentro de la imagen, para luego realizar las mediciones que sean necesarias dentro de la misma por medio de recortes de las zonas de interés dentro de la misma.

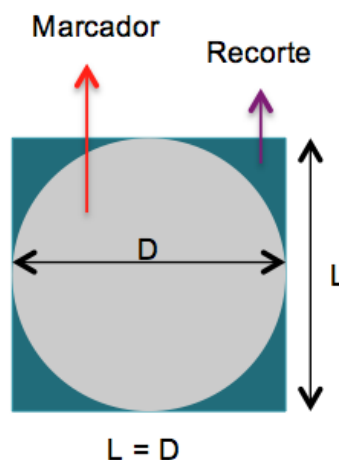


Figura 3. Representación del marcador (gris) y el recorte (azul).

$$\text{Milímetros por pixel} = \frac{L \text{ (píxeles)}}{D \text{ (mm)}}$$

Más específicamente, el proceso consiste en hacer un recorte inicial (en azul) del marcador (en gris) dentro de la imagen, es importante mencionar que el lado L recorte debe ser del mismo tamaño que el diámetro D del marcador ($L = D$), como se puede ver en la Figura 3.

Establecer una relación entre los píxeles del recorte con el diámetro del marcador, siendo diámetro del marcador una distancia conocida en milímetros, sirve para encontrar una constante de la proporción de milímetros que hay presentes en un solo píxel. Con dicha información, se realiza un segundo recorte de una zona de interés en la imagen y conociendo una constante que relacione los milímetros y los píxeles, se realiza una estimación de la distancia dentro del recorte en el eje X y el eje Y. Esta estrategia puede aplicarse tanto para calcular la estatura como para medir el perímetro braquial y cefálico de un paciente.

En el caso del perímetro braquial y del perímetro cefálico, se asume que la sección transversal del brazo o cabeza, dependiendo del caso, se aproxima a una elipse más que a una circunferencia, por lo tanto, con la estrategia mencionada anteriormente se calcula uno de los diámetros de la elipse (dos veces el radio a de la Figura 6). Para calcular entonces el segundo diámetro (dos veces el radio b de la Figura 6), se hace una diferencia de profundidades o de distancias entre la cámara y los marcadores mediante el posicionamiento de dos marcadores en la foto a dos alturas diferentes (ver Figura 4 y Figura 5), uno sobre el brazo o cabeza del paciente y otro sobre la superficie en

donde se encuentra apoyado el paciente. Luego, se calcula la diferencia de alturas entre los dos marcadores de medidas conocidas y dicha diferencia corresponde al segundo diámetro.

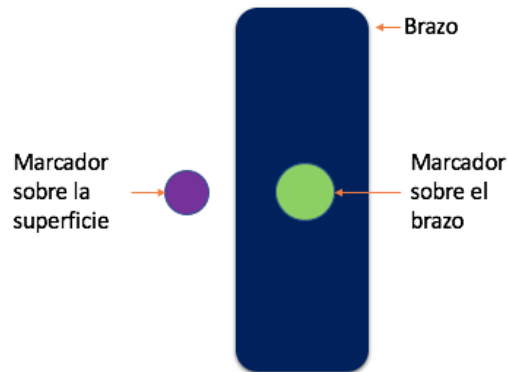


Figura 4. Diagrama del montaje a seguir para medir el perímetro del brazo.

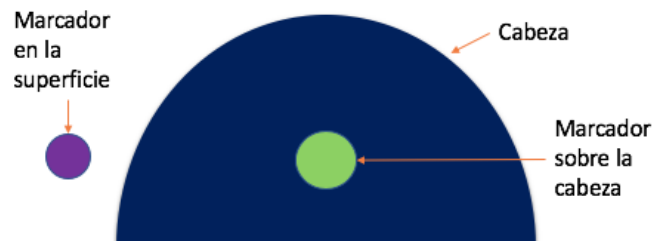


Figura 5. Diagrama del montaje a seguir para medir el perímetro de la cabeza, vista superior.

Con esta información y como se observa en la Figura 6 entonces se puede calcular el perímetro braquial o cefálico del paciente haciendo uso de la fórmula presentada a continuación para calcular el perímetro de una elipse.

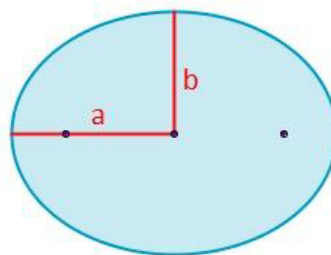


Figura 6. Cálculo del perímetro de una elipse ("Elipse", s/f).

La siguiente fórmula es la aproximación II propuesta por el matemático Ramanujan para el cálculo de la circunferencia de una elipse y es la que será utilizada durante el desarrollo de este trabajo (Sýkora, 2005).

$$\text{Perímetro} = \pi(a + b) \left(3 \frac{(a + b)^2}{(a - b)^2 \sqrt{-3 \frac{(a - b)^2}{(a + b)^2} + 4} + 10} + 1 \right)$$

La desventaja más importante de la estrategia que utiliza recortes es el error humano, pues el resultado depende en gran parte de la habilidad y la precisión del usuario para recortar no solo el marcador sino también el objeto de interés dentro de la imagen.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante desarrollar un protocolo claro para la toma de imágenes para garantizar resultados más uniformes a la hora de evaluar el desempeño de la app y calcular el error en las mediciones.



Figura 7. Marcadores utilizados en la app.

2.1.3.4.4.1 Protocolo para la validación de las medidas por medio de toma de imágenes usando la cámara del dispositivo móvil

Para esto se escoge entre una variedad de marcadores que pueden observarse en la Figura 7 y las medidas en milímetros de los marcadores pueden observarse en la tabla 3. Estos marcadores fueron elegidos porque son objetos que se encuentran disponibles en todo el territorio colombiano y que pueden ser encontrados con facilidad en cualquier parte del país.

Tabla 3. Diámetros de los posibles marcadores a usar en la app.

<u>Diámetros de los posibles marcadores</u>	
Moneda	Diámetro (mm)
1000	26.75
500 vieja	23.75
500 nueva	23.75
200 vieja	24.5
200 nueva	22.5
100 vieja	23.05
100 nueva	20.35
50 vieja	21.75
50 nueva	17
Tapa de Coca-Cola	30

a. Pasos para la toma de fotos

i. Posicionamiento

1. Para el brazo: se le pide al usuario que apoye su brazo y antebrazo estirados sobre una superficie plana con la palma de la mano apoyada sobre dicha superficie. Se ubica un primer marcador sobre la superficie donde se encuentra apoyado el brazo. Y se pone un segundo marcador sobre el brazo del paciente. Para este caso se utilizarán dos monedas de mil pesos colombianos (Figura 9).
2. Para la cabeza: el usuario debe acostarse sobre una superficie plana como una mesa. Un marcador debe ponerse sobre su frente y otro sobre la superficie donde se encuentra apoyado. Para este caso, ambos marcadores serán una moneda de mil pesos colombianos (Figura 10).
3. Para la estatura: se le pide al usuario que se pare derecho recostado contra una superficie plana como una pared y se sitúa un marcador a su lado. Para este caso se utilizó una botella de 1.5L (Figura 8).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- ii. Se toma una fotografía, idealmente el dispositivo móvil debe estar en paralelo a la superficie en donde se encuentra el usuario.
 - iii. Se realizan las medidas de los diámetros (para la cabeza y brazo) y de la estatura haciendo uso de la aplicación móvil. En la Figura 29, la Figura 30, la Figura 31 y la Figura 32 puede observarse claramente las instrucciones y alertas que brinda la app para que el usuario realice estas medidas.
- b. Para validar el protocolo se tomaron también cada una de las medidas de interés:
- i. Para el brazo: inicialmente, se buscó la prominencia del hombro Acromion y el codo Olecranon (Pontiles de Sánchez, Morón de Salim, & Darías Perdomo, 2016). Con un flexómetro se midió la distancia entre ambos puntos, marcando el punto medio. Luego, se mide la circunferencia del brazo en ese punto para obtener el perímetro del brazo.
 - ii. Para la cabeza: se mide el perímetro de la cabeza con un metro, tomando la medida sobre las cejas y las orejas.
 - iii. Para la estatura: se mide la estatura del usuario utilizando una cinta métrica y una regla sobre la cabeza.
- c. Se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con las medidas tomadas en la sección a. y en la sección b.
- d. Se calcula el porcentaje de error entre ambas medidas.



Figura 8. Ejemplo de una foto tomada siguiendo el protocolo para la toma de imágenes para medir la estatura

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 9. Ejemplo de una foto de un brazo que fue tomada siguiendo el protocolo para la toma de imágenes.



Figura 10. Ejemplo de una foto tomada siguiendo el protocolo para la toma de imágenes para medir el perímetro cefálico.

2.1.4 Verificar el funcionamiento general de la app

Un correcto funcionamiento de la aplicación consiste en revisar la ejecución y retroalimentación de la app. Para esto se debe verificar que todas las funciones, botones, cuadros de texto y tablas dentro de la app funcionan como se espera. Además, que la aplicación no debe bloquearse, por lo que se requiere un correcto manejo de errores, informando constantemente al usuario sobre que salió mal y como puede corregirlo. Esto se realizó de forma continua a medida que se desarrollaba cada etapa de la app.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.2 OBJETIVO 2: Creación de una base de datos que almacene tanto variables demográficas y antropométricas de los pacientes pediátricos

Como fue mencionado anteriormente, es necesaria una herramienta que permita la autenticación de usuarios y almacenamiento de la información en la nube de la aplicación móvil.

Realtime Database de Firebase fue la herramienta elegida para el desarrollo de la base de datos. Esta es una plataforma de desarrollo móvil en la nube de Google. En otras palabras, es una API para guardar y sincronizar datos en la nube en tiempo real. Una importante característica de Firebase es que hay disponible una gran cantidad de documentación sobre el manejo de dicha herramienta, tiene disponible autenticación de usuarios, base de datos, almacenamiento de datos, análisis del desempeño de la app, estadísticas, entre otras funciones que resultan muy útiles para potenciar el uso de apps. Adicionalmente, permite compartir características entre plataformas (iOS, Android, C++, Unity y Páginas Web) y es escalable, es decir, la capacidad de la app puede ser aumentada dependiendo de sus necesidades. La desventaja más evidente de hacer uso de Firebase, es que necesariamente el dispositivo móvil deberá tener acceso a Internet. No obstante, dicha herramienta permite mantener una base de datos organizada y actualizada automáticamente, así como una gran cantidad de funciones extra que permiten evaluar y mejorar el desempeño de una app (Zamora, 2016).

Todos los datos de la base de datos de Firebase se almacenan como objetos JSON (JavaScript Object Notation) y se sincronizan en tiempo real con cada cliente conectado. Esta puede conceptualizarse como un árbol JSON alojado en la nube. A diferencia de una base de datos de SQL, no hay tablas ni registros. Cuando se agregan datos al árbol JSON, estos se convierten en un nodo de la estructura JSON existente con una clave asociada (Google & Firebase, 2018).

2.2.1 Definición de las variables de importancia para la base de datos

Las variables son: nombre, apellidos, ubicación, fecha de nacimiento, edad en meses, género, peso, estatura, IMC, perímetro del brazo, perímetro de la cefálico y resultado o diagnóstico.

2.2.2 Diseño de la base de datos

En esta etapa se define el tipo de base de datos que se va a implementar, ya sea OLTP (On-Line Transactional Processing) u OLAP (On-Line Analytical Processing). Los sistemas OLTP son bases de datos orientadas al procesamiento de transacciones y que involucra crear, actualizar, leer o eliminar datos. Los sistemas OLAP son bases de datos orientadas al procesamiento analítico, implican la lectura de grandes cantidades de datos para llegar a una conclusión de interés. Para este trabajo se eligió el tipo OLTP.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.2.3 Evaluación de la comunicación desde la app a la base de datos

Para esto se realizaron pruebas sencillas donde se crearon usuarios desde la app y se evaluó si la información es almacenada correctamente en la base de datos. Se tuvo en cuenta que si se enviaran todos los datos deseados y que los datos estuviesen correctamente organizados.

2.3 OBJETIVO 3: Verificación del desempeño de la aplicación desarrollada por medio de pruebas de funcionalidad y usabilidad

2.3.1 Metodología para evaluar la funcionalidad de un software

2.3.1.1 Diseño de estudio

El estudio que se llevará a cabo es un estudio transversal de tipo prueba de pruebas diagnósticas para comparar su desempeño con respecto a un profesional de la salud o un nutricionista, siendo estos últimos considerados como el gold standard de la prueba, es decir, son el control o referencia para evaluar la funcionalidad del otro test.

2.3.1.2 Población del estudio

La población de estudio será la población de niños menores de 5 años de la ciudad de Medellín, que equivale a 145.240 personas (Alcaldía de Medellín, 2016). Este estudio fue realizado en el periodo de septiembre a octubre del año 2018.

2.3.1.3 Muestra

Se determinó un tamaño de muestra representativa que permite inferir los resultados del presente estudio a la población, haciendo uso de la calculadora estadística Epidat (Dirección Xeral de Saúde Pública, 2005). Teniendo en cuenta la población del estudio y los siguientes supuestos: una precisión absoluta de 3%; una prevalencia de la desnutrición aguda en menores de cinco años en Medellín del 1,96% (SENIN, 2015) y un nivel de confianza del 95%; el tamaño de la muestra que se debe tomar es de 82 historias clínicas.

No obstante, por cuestiones de tiempo y recursos se decidió utilizar una muestra no probabilística. Esto implica que no se podrá hacer inferencia sobre los resultados de este estudio a la población. El estudio que se llevó a cabo es de tipo exploratorio, no probabilístico, por conveniencia en donde se evaluó la validez y la seguridad de la herramienta de diagnóstico mediante una prueba de pruebas haciendo uso de información clave

presente en 30 historias clínicas que fueron proporcionadas por la Fundación FAN en Medellín.

Se decidió utilizar una muestra de 30 historias clínicas debido a lo estipulado en el Teorema del Límite central, donde se afirma que, si el tamaño de una muestra es lo suficientemente grande (mayor o igual a 30), la distribución de las medias sigue aproximadamente una distribución normal, para una población con varianza finita (Vargas Barrera, 2008).

2.3.1.4 Criterios de inclusión

Pacientes con edades comprendidas entre los 0 y 5 años que acuden a la fundación FAN y a quienes les fue evaluado su estado nutricional por los nutricionistas Andrés Felipe Sepúlveda o Michelle Álvarez García – Tuñón entre abril del 2016 y octubre del 2018.

2.3.1.5 Criterios de exclusión

Ausencia de alguna variable antropométrica en los datos recolectados de las historias clínicas.

2.3.1.6 Definición de variables

- Edad: años y meses cumplidos.
- Peso: medido en kilogramos.
- Talla: medida en centímetros.
- Perímetro cefálico y braquial: definida en centímetros.
- Sexo: categorías femenino o masculino.
- Peso para la longitud/talla: definida en kilogramos/centímetros.
- Desnutrición: Datos por debajo de la línea de puntuación -2 desviaciones estándar de puntuación Z en el peso para la longitud/talla.

2.3.1.7 Procedimientos

Se construyó una base de datos basada en las historias clínicas obtenidas. Se tomaron las variables de fecha de nacimiento, fecha del examen, sexo, peso, talla, perímetro cefálico y braquial, peso para la longitud/talla, puntuación z del peso para la talla y diagnóstico del nutricionista.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Luego se realizó una simulación con la aplicación móvil, donde se registró a cada uno de los usuarios a continuación, se ingresaron los datos de las historias clínicas a la herramienta y se creó una columna con los resultados obtenidos en la base de datos previamente creada. Tanto el diagnóstico del especialista como el resultado de la app pueden ser de 7 tipos para el índice peso para la talla, de acuerdo a la Resolución 2465 de 2016 y a la tabla 1: Obesidad, Sobrepeso, Riesgo de Sobrepeso, Peso Adecuado para la Talla, Riesgo de Desnutrición Aguda, Desnutrición Aguda Moderada y Desnutrición Aguda Severa.

Teniendo en cuenta esta clasificación, los resultados obtenidos del diagnóstico del especialista y de la app fueron dicotomizados, es decir, a los valores que corresponden a desnutrición, ya sea Desnutrición Aguda Moderada o Desnutrición Aguda Severa, se les asigna un 1, que significa que hay presencia de la enfermedad. En el caso contrario, se asigna un 0, que implica la ausencia de la enfermedad. Este procedimiento es necesario para realizar las pruebas de funcionalidad.

2.3.1.8 Aspectos éticos

Para este trabajo se utilizaron historias clínicas de pacientes, que se consideran como una fuente de información secundaria. La identidad de cada uno de los individuos se mantiene confidencial. Los nutricionistas Andrés Felipe Sepúlveda y Michelle Álvarez García – Tuñón y la coordinadora Viviana Patricia Ramírez Ospina dieron la autorización para tener acceso a las historias clínicas utilizadas (Anexo 2).

2.3.1.9 Análisis de datos

En este caso se desea evaluar que tan acertada es la herramienta desarrollada para diagnosticar un caso de desnutrición en un individuo. Una buena prueba diagnóstica es la que ofrece resultados positivos en enfermos y negativos en sanos. (Fernández, Org, Díaz, & Org, 2003; Morrison, 1992).

Actualmente, los profesionales de la salud en el país hacen uso de la Resolución 2465 de 2016 de la Republica de Colombia y los patrones de crecimiento infantil de la OMS para realizar la clasificación antropométrica del estado nutricional de un paciente como puede observarse en la Tabla 1 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016; OMS, 2014). La aplicación realiza el diagnóstico por medio de las ecuaciones propuestas en el Anexo 1, que fueron obtenidas mediante una regresión utilizando el software de Matlab (MathWorks, 2018). Dichas ecuaciones están basadas en los patrones de crecimiento infantil propuestos por la OMS (OMS, 2014).

La prueba que se realizó es dicotómica, donde se clasifica a cada paciente como sano o enfermo en función de que el resultado de la prueba sea positivo o negativo (Fernández et al., 2003). El resultado positivo está asociado con presencia de la enfermedad y el negativo con su ausencia. Los resultados de dicha prueba se presentan como se muestra en la Tabla 4. En ella, se ilustra el resultado de la prueba diagnóstica (en filas) con el diagnóstico de los pacientes de acuerdo con el criterio del especialista (en columnas). El resultado de la prueba puede ser correcto (verdadero positivo y verdadero negativo) o incorrecto (falso positivo y falso negativo). El análisis de su validez puede obtenerse calculando los valores de sensibilidad y especificidad (Fernández et al., 2003).

Se utilizó el software SPSS (IBM, 2016) para obtener un resultado con la misma estructura de la Tabla 4. Por medio de un análisis de pruebas diagnósticas se encuentra la sensibilidad, es decir, la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo enfermo; y especificidad o la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo sano. Igualmente, se utilizaron los valores predictivos positivos (VPP) en otras palabras, la probabilidad de padecer la enfermedad si se obtiene un resultado positivo en la prueba; y los valores predictivos negativos (VPN), la probabilidad de que un sujeto con un resultado negativo en la prueba esté realmente sano, para determinar la seguridad de dichos resultados; los cocientes de probabilidad positivos (CP+) indican cuánto más probable es tener un positivo en un enfermo que en un sano; y los negativos (CP-), expresan cuánto más probable es encontrar un negativo en un enfermo que en un sano, para determinar su utilidad. Algunas fórmulas de interés se encuentran descritas al final de esta sección (López de Ullibarri Galparsoro & Pita Fernández, 2001; Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2010).

Tabla 4. Relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de una enfermedad de acuerdo con un control

Prueba*Control tabulación cruzada			
Recuento		Control	
		Si	No
Prueba (NutriKids)	Si	Verdadero Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
	No	Verdadero Negativo (VN)	Falso Negativo (FN)

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN} \quad Especificidad = \frac{VN}{VN + FP}$$

$$VPP = \frac{VP}{VP + FP} \quad VPN = \frac{VN}{VN + FN}$$

$$CP+ = \frac{Sensibilidad}{1 - Especificidad} \quad CP- = \frac{1 - Sensibilidad}{Especificidad}$$

2.3.2 Metodología para evaluar la usabilidad de un software

En el presente estudio únicamente se evaluará la satisfacción de los usuarios. Teniendo en cuenta lo anterior, se llevó a cabo una prueba de la usabilidad utilizando el cuestionario QUIS 7 (Questionnaire for User Interaction Satisfaction). QUIS es una herramienta de medición diseñada para evaluar la satisfacción subjetiva de un usuario con la interfaz persona-computadora. Fue desarrollada en el laboratorio HCIL de la Universidad de Maryland. El cuestionario contiene preguntas demográficas, una medida de la satisfacción general del sistema y una medida de los factores de interfaz específicos, como la visibilidad de la pantalla, la terminología y la información del sistema, los factores de aprendizaje y las capacidades del sistema (Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL), 1988). Dicho cuestionario fue validado por J. P Chin, V. A. Diehl, and K. L. Norman (1988) en su publicación Development of an Instrument Measuring User Satisfaction of the Human-Computer Interface (Chin, Diehl, Norman, & Norman, 1988) y ha sido utilizado en una variedad de estudios actuales como “Usability evaluation of mobile applications using ISO 9241 and ISO 25062 standards” para evaluar la usabilidad de una app (Moumane, Idri, & Abran, 2016).

Esta herramienta fue elegida porque fue validada por diferentes autores y ha sido utilizada desde su creación hasta el día de hoy como una medida de usabilidad para apps, además no se necesitan de dispositivos sofisticados para realizar la prueba y evaluar la satisfacción de los usuarios con respecto a diferentes aspectos de la herramienta. Tiene como desventaja que para adquirir el cuestionario oficial se debe pagar alrededor de \$750 USD por lo que se propuso una aproximación a dicho cuestionario basándose en el cuestionario que se encuentra reportado en literatura (Chin et al., 1988; Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL), 1988). Adicionalmente, el cuestionario es reportado en inglés, por lo que se hizo una traducción de este. Siendo rigurosos, dicha traducción debe ser validada, sin embargo, al ser este trabajo de modalidad exploratoria se considerará dicha traducción para medir usabilidad reconociendo el sesgo en la herramienta de medición.

El tipo de respuestas del cuestionario son de escala likert entre 0 y 9 puntos, siendo 0 la peor y 9 la mejor, las respuestas están clasificadas de la siguiente forma: 9 es excelente, 6 – 8 es muy bien, 4 – 6 significa que es una buena respuesta, 2 – 4 es mal, y 0 a 2 significa muy mal (Bustamante-sandoval, Becerra-vallejos, & Arias-facundo, 2012). Adicionalmente, el cuestionario se compone de 6 secciones que a su vez tienen varias preguntas. Las secciones a evaluar fueron: preguntas generales y demográficas, reacciones generales del usuario, pantalla, terminología e información del sistema, aprendizaje, capacidades del sistema, aspectos técnicos y usabilidad e interfaz de usuario.

2.3.2.1 Población

La población a evaluar en este estudio es la población de Medellín, que equivale a 2'508.000 personas. Este estudio fue realizado en el periodo de septiembre a octubre del año 2018.

2.3.2.2 Muestra

Se determinó el tamaño de muestra representativa que permite inferir los resultados del presente estudio a la población, haciendo uso de la calculadora estadística Epidat (Dirección Xeral de Saúde Pública, 2005). Teniendo en cuenta la población del estudio y los siguientes supuestos: una precisión absoluta de 3%; un 70% de los habitantes de Medellín tienen un Smartphone (Caracol Radio, 2017); el tamaño de la muestra que se debe tomar es de 897 personas; un nivel de confianza del 95%.

No obstante, por cuestiones de tiempo y recursos se decidió utilizar una muestra no probabilística. Esto implica que no se podrá hacer inferencia sobre los resultados de este estudio a la población. El estudio que se llevó a cabo es de tipo exploratorio donde se evaluará la usabilidad de la herramienta de diagnóstico mediante una encuesta de satisfacción que le fue realizada a 15 personas, por conveniencia, que no tienen conocimiento de la aplicación.

2.3.2.3 Procedimiento

Inicialmente se le dio una explicación al usuario sobre la actividad que se llevaría a cabo, se explicó el propósito del estudio y de la aplicación misma.

Antes de comenzar con la actividad, el participante fue informado tanto de los beneficios como de los riesgos de participar en la prueba:

- Beneficios

- Aportar a una investigación académica su concepto para evaluar una aplicación móvil con fines de diagnóstico, permitiendo el mejoramiento continuo de dicha herramienta.
- Conocer una valoración del estado nutricional de una persona menor de cinco años a partir de la herramienta desarrollada.

- Riesgos

- Mal manejo de la información recopilada por la app o en la encuesta realizada.

Para evitar este riesgo se asegurarán condiciones de privacidad, confort y tener presente que el usuario haya entendido las indicaciones brindadas.

Luego, el usuario debía interactuar con la aplicación libremente realizando diferentes tareas como:

- Registrarse.
- Iniciar sesión.
- Llenar un formulario.
- Editar el formulario.
- Realizar mediciones si se desea.
- Obtener un resultado relacionado del estado nutricional del paciente correspondiente a los datos ingresados.

Al finalizar, el usuario debía realizar la encuesta QUIS 7, disponible en un formulario de Google, donde debía responder preguntas sobre la usabilidad de la aplicación. La información personal de los individuos es de carácter confidencial según lo establecido por la Ley Estatutaria 1581 de 2012, esta información no se hará pública y la información obtenida de ninguna manera afecta la vida del encuestado (Congreso de Colombia, 2012).

2.3.2.4 Aspectos éticos

Con cada uno de los encuestados se realizó un consentimiento informado oral, explicando claramente los beneficios y riesgos de participar en el estudio, como fue descrito anteriormente.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.3.2.5 Análisis de datos:

Una vez terminadas las encuestas, se procedió a analizar los resultados obtenidos.

Inicialmente, se creó una base de datos con las respuestas a cada una de las preguntas. En esta, cada una de las columnas representa una sección de la encuesta, de tal forma que, en cada columna se organizan todas las respuestas a cada una de las preguntas de la sección. Luego, teniendo la información organizada en una base de datos, se realizó una descripción de las características demográficas de la muestra. Posteriormente se llevó a cabo un análisis descriptivo, reportando medidas de resumen y gráficos correspondientes con los resultados obtenidos.

Adicionalmente, se evaluó si los datos se ajustan a una distribución normal para las respuestas de cada sección mediante la prueba de Shapiro – Wilk. Con el fin de reportar media y desviación estándar dado el caso que la hipótesis nula no fuese rechazada (normalidad), o mediana y rango intercuartílico cuando la hipótesis fuese rechazada.

3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Objetivo 1: Diseño de un aplicativo móvil que permita determinar si un paciente pediátrico sufre de desnutrición

3.1.1 Definición de las funcionalidades básicas de la aplicación móvil

Utilizando la información recolectada en la búsqueda bibliográfica, se profundizó aún más en el diseño de apps, así como las funciones esenciales que deberá desempeñar y aspectos de importancia como los legales.

3.1.1.1 Funciones básicas

Estas son las funciones esenciales que deberá desempeñar la aplicación móvil para cumplir con el objetivo planteado:

- Crear una cuenta.
- Llenar un formulario con la información de un usuario.
- Almacenar datos.
- Mostrar un resultado relacionado con los datos ingresados.
- Medir variables antropométricas como la estatura, perímetro del brazo y perímetro de la cabeza.
- Obtener un resultado correspondiente al estado nutricional del paciente.

3.1.1.2 Requerimientos técnicos

Se obtuvo información sobre los requerimientos técnicos de la app basándose en las funcionalidades listadas en el punto anterior:

- Acceso a la cámara y localización del dispositivo móvil: Para adquirir información de importancia sobre el usuario, como imágenes para realizar medidas de estatura, perímetro cefálico y perímetro del brazo. La ubicación será útil a la hora de evaluar poblaciones que fueron diagnosticadas con desnutrición y cuál es su distribución en un territorio.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Autenticación del usuario: Este es un aspecto clave pues permite diferenciar a cada uno de los usuarios que son registrados en la app, haciéndola más segura y permitiendo almacenar información específica que le corresponde a cada uno de los usuarios.
- Almacenamiento de datos: Estrategia que sirve para guardar datos de interés de cada usuario. Existen muchas estrategias para llevar a cabo el almacenamiento de los datos. Se busca utilizar una herramienta que cuente con guías claras y que permita almacenar la información de forma gratuita en la nube para así evitar ocupar memoria en el dispositivo móvil y garantizar que dicha información esté disponible en la web para que luego pueda ser analizada.

3.1.2 Esquema de la estructura y la apariencia de la aplicación móvil

3.1.2.1 Diagramas de flujo y de clases

En la Figura 11 se observa el diagrama de flujo propuesto que se divide en 4 partes. Hay una sección de inicio, donde el usuario debe ser autenticado. Una segunda sección donde el usuario debe ingresar datos de la persona a evaluar. La tercera parte consiste en la medición de las variables antropométricas de estatura, perímetro del brazo y de la cabeza. Y finalmente, la última es la presentación de los resultados.

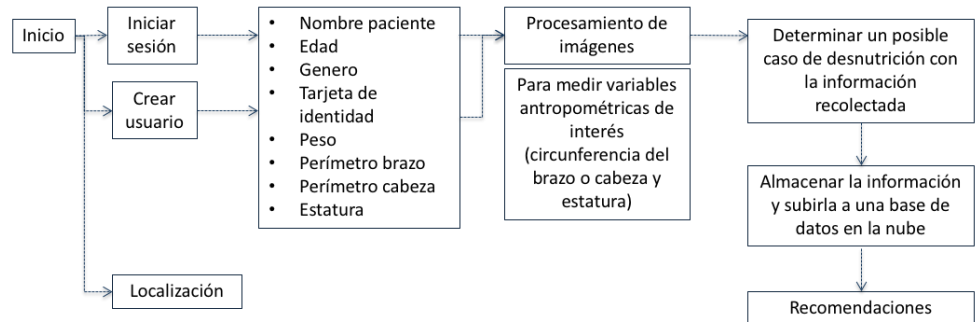


Figura 11. Diagrama de flujo de la app

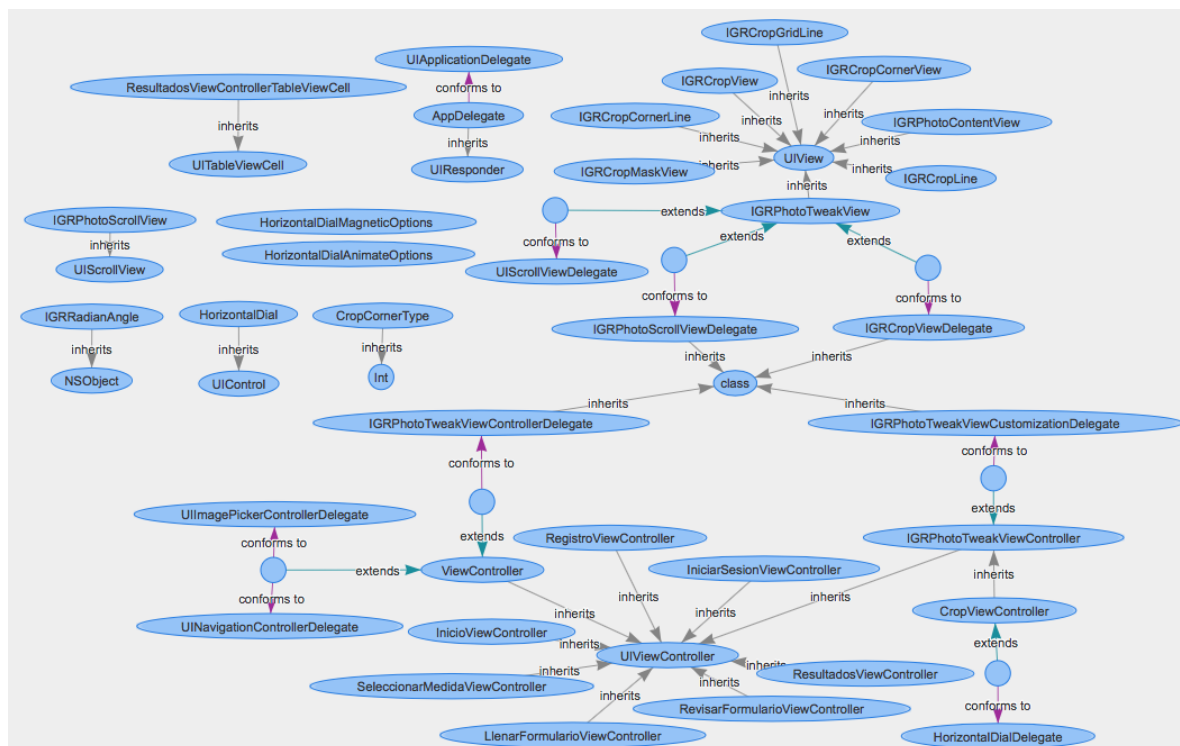


Figura 12. Diagrama de clases del programa en Swift

En la Figura 12 se puede observar un diagrama de clases del programa. Este diagrama permite comprender mejor como funciona internamente la app y la relación entre clases, atributos, métodos, y los objetos dentro del sistema. Dicho diagrama fue creado usando una herramienta de GitHub llamada Swift-Auto-Diagram que fue desarrollada por Jovan Jovanovski y Zdravko Nikolovski.

3.1.2.2 Definición de un entorno y lenguaje de programación

Se tomó la decisión de desarrollar la app para dispositivos iOS por cuestiones de accesibilidad durante el desarrollo ya que no se contaba con dispositivos Android a la mano para realizar pruebas en estos.

Xcode (Apple, 2018) es el entorno de programación utilizado para el desarrollo de apps en dispositivos iOS, como Mac, iPhone, iPad, Apple Watch y Apple TV. En este trabajo se hizo uso de este software para el diseño y programación de la app. El lenguaje de programación utilizado fue Swift, un lenguaje de alto nivel para el desarrollo de software en dispositivos iOS. Este lenguaje es un sucesor tanto de C como de Objective-C, por lo que incluye tanto funciones de bajo nivel como tipos, control de flujo y operadores, como aquellas funciones orientadas a objetos como clases, protocolos y otras funciones genéricas. Swift es un

Open Source que se caracteriza por ser seguro, rápido y conciso, y que actualmente es muy utilizado para el desarrollo de aplicaciones móviles para iOS.

3.1.2.3 Interfaz gráfica

Se diseñó de la interfaz gráfica de la app basándose en el esquema realizado previamente, esta puede apreciarse entre la Figura 13 y la Figura 21. Inicialmente, en la Figura 13 se observan dos botones, uno para un nuevo usuario y otro para usuarios que ya han utilizado la app.

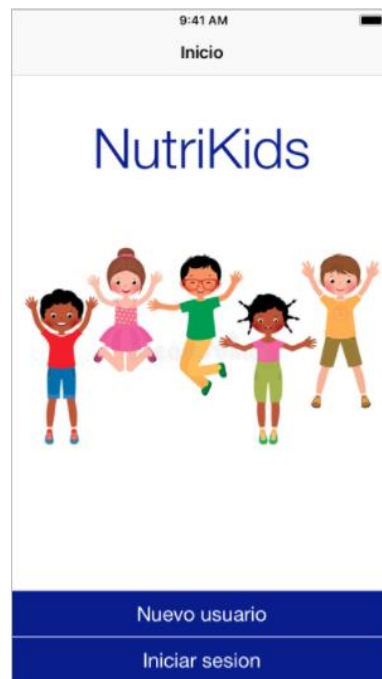


Figura 13. Vista de inicio de la App

El botón “Nuevo usuario” traslada la app a la Figura 14 donde se debe registrar al paciente luego de verificar que no existe otro usuario con los mismos datos. Luego, se pasa a la vista de la Figura 15 donde se muestra un formulario con información clave que será almacenada posteriormente en una base de datos.

Claro 3G 5:53 PM 18%

[Inicio](#) Registro

test1@h.com

•••••

Registrarse

Figura 14. Vista de Registro de un nuevo usuario

9:41 AM

[Registro](#) Formulario [Salir](#)

Nombre del paciente
Nombre completo

Apellidos del paciente
Apellido de padre y madre

Identificación del paciente
Tarjeta de identidad

Fecha de nacimiento
DD / MM / AAAA
*El usuario debe ser menor a 5 años

Sexo
Masculino Femenino ☐

Peso (Kg) **Estatura (cm)**
Obligatorio Obligatorio **Medir**

Perimetro cefálico (cm)
Si se conoce **Medir**

Perimetro braquial (cm)
Si se conoce **Medir**

Continuar

Figura 15. Vista del formulario para un nuevo usuario

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El botón de “Iniciar sesión” de la Figura 13 traslada la app a la Figura 16, donde se autentica que el usuario ya existe y se accede a la información almacenada en la base de datos sobre este. La información de un usuario previamente registrado puede ser visualizada y editada en la Figura 17 y es actualizada inmediatamente en la base de datos.



Figura 16. Vista de Inicio de sesión para usuarios previamente registrados

Claro 3G 5:49 PM 14%

[Iniciar Sesión](#) **Formulario** [Editar](#) [Salir](#)

Nombre del paciente
Test

Apellidos del paciente
1

Identificación del paciente
123456789

Fecha de nacimiento
05 / 05 / 2015

Sexo
Masculino Femenino

Peso (Kg) **Estatura (cm)**
18 151.03474 **Medir**

Perímetro cefálico (cm)
40.223995 **Medir**

Perímetro braquial (cm)
14.993291 **Medir**

Continuar

Figura 17. Vista del formulario de un usuario previamente registrado

Finalmente, tanto en el formulario de la Figura 15 como el de la Figura 17 llevan al usuario a la Figura 18 al presionar cualquiera de los botones de Medir. En las vistas de la Figura 18 se puede tomar una aproximación a las medidas de estatura, perímetro del brazo o perímetro de la cabeza. Regresando, luego, al usuario al formulario de la Figura 15 o Figura 17 (dependiendo si el usuario es nuevo o ya está registrado) una vez finalizada la medición. Al presionar el botón de Continuar en la vista de la Figura 15 o la Figura 17, y teniendo la información de peso, estatura, edad, perímetro de la cabeza y perímetro del brazo, la app realiza los cálculos de las variables antropométricas y se muestra el resultado obtenido en la vista de la Figura 19 haciendo uso de una tabla. Por último, deberá aparecer una alerta basada en los resultados obtenidos previamente, identificando si el usuario presenta un posible caso de desnutrición y realizando una posible recomendación dependiendo del caso.

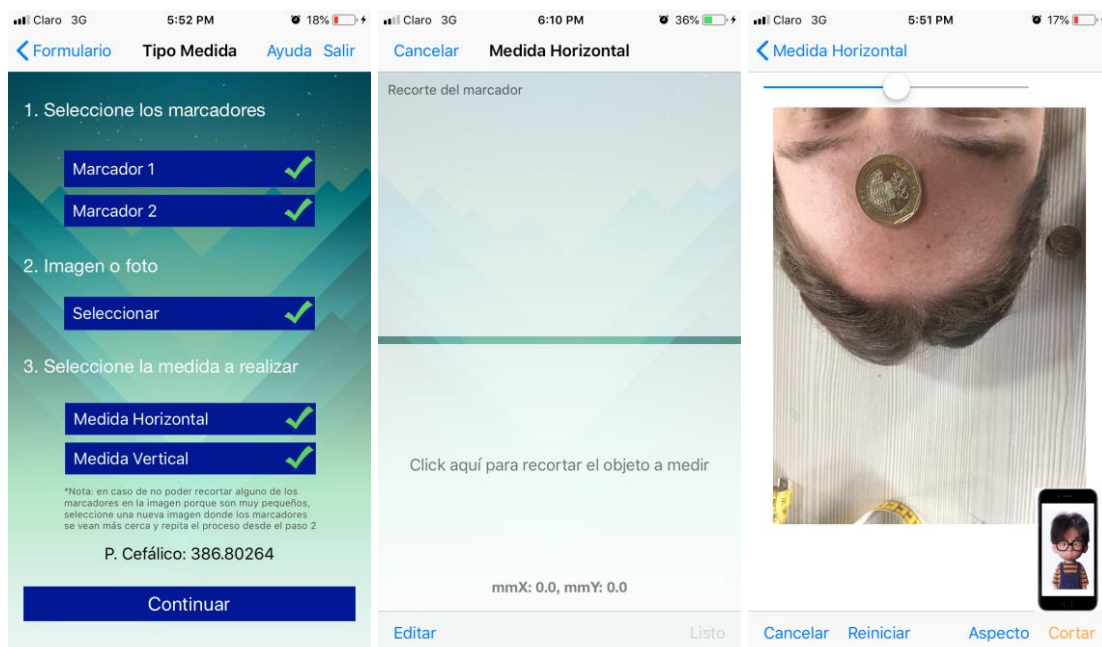


Figura 18. Vistas que permiten la selección de recortes para realizar medidas de estatura, perímetro de la cabeza y del brazo (varía dependiendo de la medida a realizar).

Indicador	Punto de corte (desviaciones estandar DE)	Clasificación antropométrica
Peso para la talla	< -3 DE	Desnutrición Aguda Severa
Talla para la edad	≥ -1 DE	Talla adecuada para la edad
P. cefálico para la edad	< -2 DE	Factor de Riesgo para el Neurodesarrollo
IMC para la edad	≤ 1 DE	No Aplica (Verificar con P/T)
Peso para la edad	≥ -1 DE a < a 1 DE	No Aplica (Verificar con IMC/E)
P. brazo para la edad	N/A	Perímetro adecuado para la edad

*Resultados basados en la Resolución No. 2165 de 2016 de la República de Colombia y los Patrones de Crecimiento Infantil de la OMS

Figura 19. Vista Final, tabla con el resultado obtenido.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

en la foto, que puede ser una moneda, una tapa, una botella de 1.5L o cualquier otro objeto que se encuentre fácilmente en cualquier parte del país y cuyas características sean las mismas en todo el territorio.

3.1.3.3.1 Procesamiento de imágenes con OpenCV

Para el procesamiento utilizando OpenCV (Intel Corporation et al., 2018), la app funciona como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 21. Como se mencionó anteriormente, deben utilizarse dos lenguajes de programación dentro de la aplicación móvil, Objective – C y Swift.

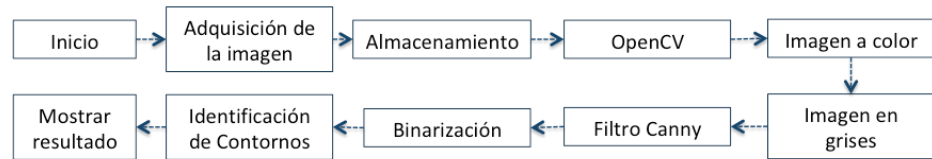


Figura 21. Diagrama de bloques de una app que realiza el procesamiento de imágenes con OpenCV (Intel Corporation et al., 2018).

Los resultados del procesamiento utilizando OpenCV (Intel Corporation et al., 2018) y Xcode (Apple, 2018) pueden observarse en un ejemplo, como se ve en la Figura 22 (a) y (b).

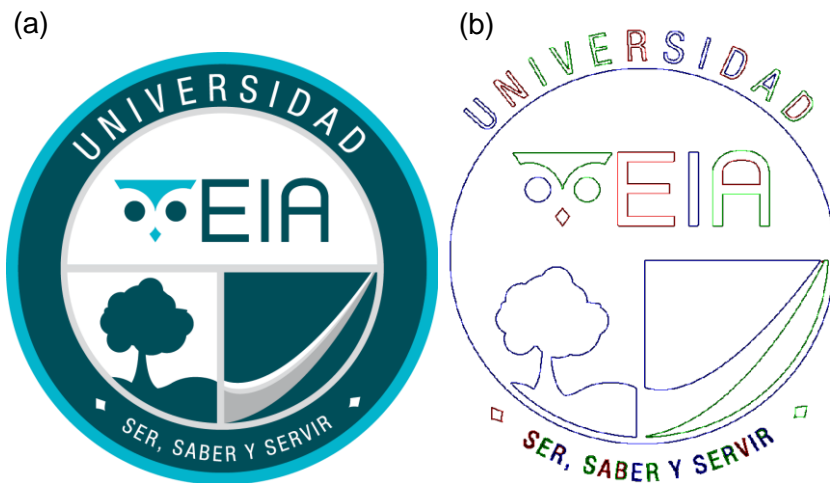


Figura 22. Procesamiento de imágenes con OpenCV en Xcode (Apple, 2018). (a) Imagen de prueba (Universidad EIA, s/f). (b) Contornos de la imagen.

Aunque los resultados en la identificación de contornos utilizando OpenCV (Intel Corporation et al., 2018) son muy positivos, se tomó la determinación

de no utilizar este método por cuestiones de tiempo y por la falta experiencia utilizando OpenCV (Intel Corporation et al., 2018) en conjunto con Xcode (Apple, 2018). Por esto, se decidió realizar un procesamiento de imágenes por medio de recortes de la imagen como se explicará en la próxima sección. No obstante, una posible mejora a futuro es implementar OpenCV (Intel Corporation et al., 2018) para realizar la identificación de objetos de interés en las imágenes, para disminuir así los errores que se generan por el cálculo de las medidas de interés (estatura, perímetro del brazo y de la cabeza).

3.1.3.3.2 Procesamiento de imágenes por medio de recortes de la imagen

Para el procesamiento de imágenes con recortes se hizo uso de librerías como IGRPhotoTweaks, para facilitar la programación de la app. Dicha librería fue creada por Korich y se encuentra disponible en GitHub (Korich, 2018).

La programación se realizó en Swift. Para este caso, se asumió que la mejor aproximación a un corte transversal del brazo y la cabeza es una elipse.

De acuerdo con lo anterior, se hace necesario conocer la distancia focal del dispositivo a cualquier objeto. Esta medida es una constante que le permite al usuario conocer la distancia entre la cámara y cualquier objeto de medidas conocidas en la imagen, en otras palabras, permite conocer a qué profundidad se encuentra dicho objeto haciendo uso de semejanza de triángulos para hacer una estimación de la profundidad entre dos objetos de dimensiones conocidas.

El paso inicial es la realización de una calibración previa de la distancia focal F como puede observarse en el diagrama de bloques de la Figura 24 y la Tabla 5. Para calibrar F con respecto a un marcador inicialmente se debe tomar una foto a una altura conocida entre la cámara y este marcador. Después se midió la distancia focal tres veces en una foto con dicho marcador en ella. Luego se tomó el promedio de los tres resultados, para así encontrar el valor de F promedio para ese marcador específico. Finalmente, y teniendo en cuenta que el diámetro del marcador es conocido tanto en milímetros como en píxeles (este proceso se explicará en detalle más adelante), se calcula la distancia focal, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$F = \frac{P * h}{W}$$

Donde,

- F es la distancia focal
- W es el diámetro en milímetros del marcador

- P es el diámetro en píxeles del marcador
- h es la distancia entre el marcador y la cámara en milímetros

Esto puede apreciarse mejor en la Figura 23. Donde, lo que se encuentra en el recuadro es parte de la cámara del dispositivo móvil.

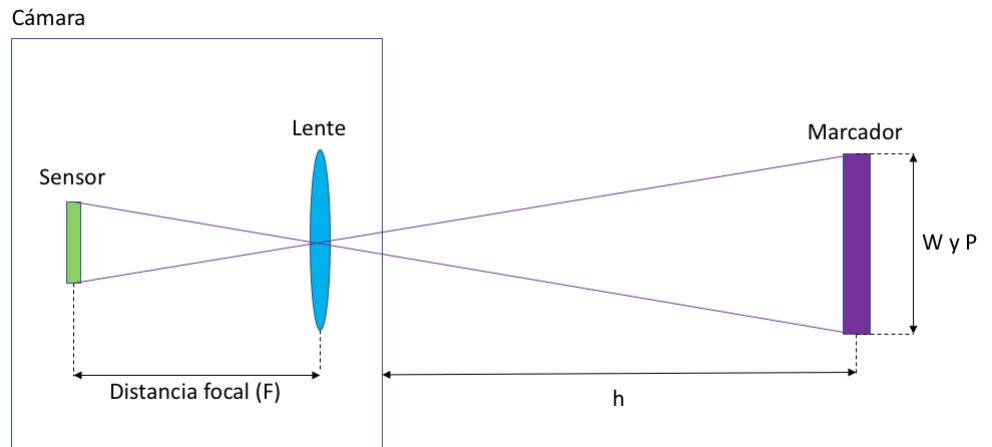


Figura 23. Representación gráfica de la distancia focal de un dispositivo, vista superior.

Conociendo entonces la distancia focal F , se procede a recortar el marcador que se encuentra a una altura h_1 y el marcador que se encuentra a una altura h_2 , la resta entre ambas alturas ($h_1 - h_2$) es una profundidad que equivale a la distancia entre ambos marcadores en el eje z . En otras palabras, dicha medida corresponde al diámetro B de la elipse. Un ejemplo se puede ver en la Figura 25, donde se asume la sección transversal del brazo como una elipse, con diámetros A y B . El diámetro calculado en este caso es el B .

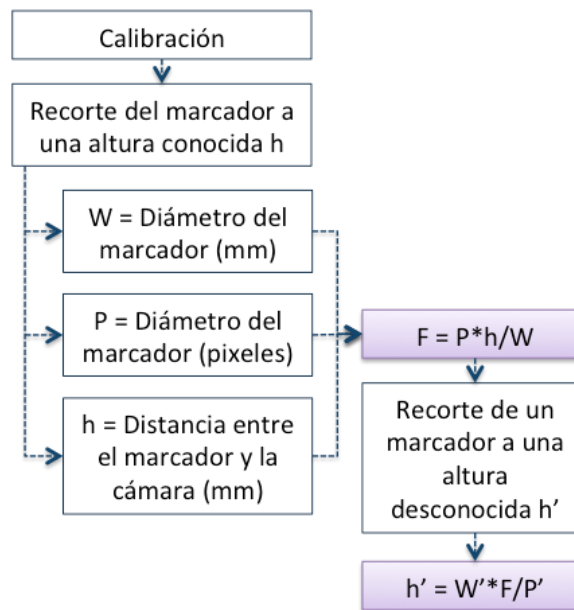


Figura 24. Diagrama de bloques correspondiente a la calibración de la distancia focal, una constante necesaria para calcular la distancia entre un objeto y la cámara.

Tabla 5. Calibración de la distancia focal (DF) en píxeles para cada uno de los marcadores de la Figura 7, en la cual V hace referencia a las monedas viejas y N a las monedas nuevas colombianas.

Marcador	DF1	DF2	DF3	DF promedio
tapa 1	3.059,6188	3.044,3982	3.013,3588	3039,125267
tapa 2	3.278,6218	3.306,9305	3.277,4710	3287,674433
1000	2.953,2303	2.966,9358	2.954,6665	2.958,2775
500 V	3.035,6445	3.010,1285	2.989,9106	3011,894533
500N	3.119,4560	3.114,9005	3.111,6650	3115,3405
200V	3.051,9885	3.082,2730	3.086,5707	3073,610733
200N	3.161,7420	3.116,1285	3.169,4714	3149,113967
100V	3.046,2580	3.051,2054	3.054,0503	3050,504567
100N	3.115,7587	3.081,9666	3.082,5433	3093,422867
50V	3.042,5413	3.054,1572	3.058,9382	3051,8789
50N	3.164,4756	3.121,4187	3.110,5723	3132,155533

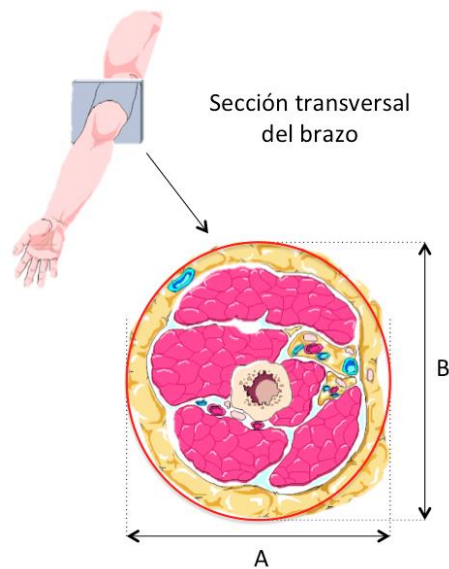


Figura 25. Sección transversal del brazo. A y B son los dos diámetros por calcular por medio de la imagen para estimar el perímetro braquial (smartdraw, s/f).

Luego de finalizar la etapa de calibración, se procede a realizar las medidas correspondientes en las de los objetos de interés en la imagen. El diagrama de bloques del funcionamiento de la app puede observarse en la Figura 26.

La app permite tomar una foto del brazo o de la cabeza del paciente apoyado sobre una superficie plana, como puede observarse para el brazo en la Figura 9. Se usan dos marcadores a diferente altura, uno sobre la misma superficie donde se encuentra apoyado el brazo y otro sobre el brazo (aproximadamente en la parte media de este). Para establecer una relación entre los milímetros y los píxeles en el recorte, es decir una constante K que representa los milímetros presentes en un píxel, se debe recortar el marcador que se encuentra sobre la superficie con la app. Luego, se debe recortar cualquier zona de interés en la imagen para así obtener diferentes medidas en milímetros en los ejes X e Y de dicho objeto, como lo es el diámetro A del brazo que puede observarse en la Figura 25.

Consecuentemente, el proceso debe repetirse. Primero se debe recortar el segundo marcador (el que se encuentra sobre el brazo), y conociendo las medidas en milímetros de ambos marcadores, puede realizarse una estimación de la profundidad entre ambos. Dicho de otra forma, puede estimarse un segundo diámetro del brazo B.

Finalmente, teniendo ambos diámetros A y B se calcula el perímetro del brazo que se aproxima a una elipse. El mismo procedimiento es aplicado para medir el perímetro de la cabeza del usuario, teniendo una imagen como la que se puede ver en la Figura 10. La altura del paciente también

puede ser calculada teniendo solo un marcador en la foto y repitiendo el mismo procedimiento que fue usado para encontrar el primer diámetro del brazo o de la cabeza.

Teniendo estos valores en conjunto con otros como la edad, el sexo y el peso del paciente, la app podrá entonces calcular si el paciente sufre de un posible caso de desnutrición.

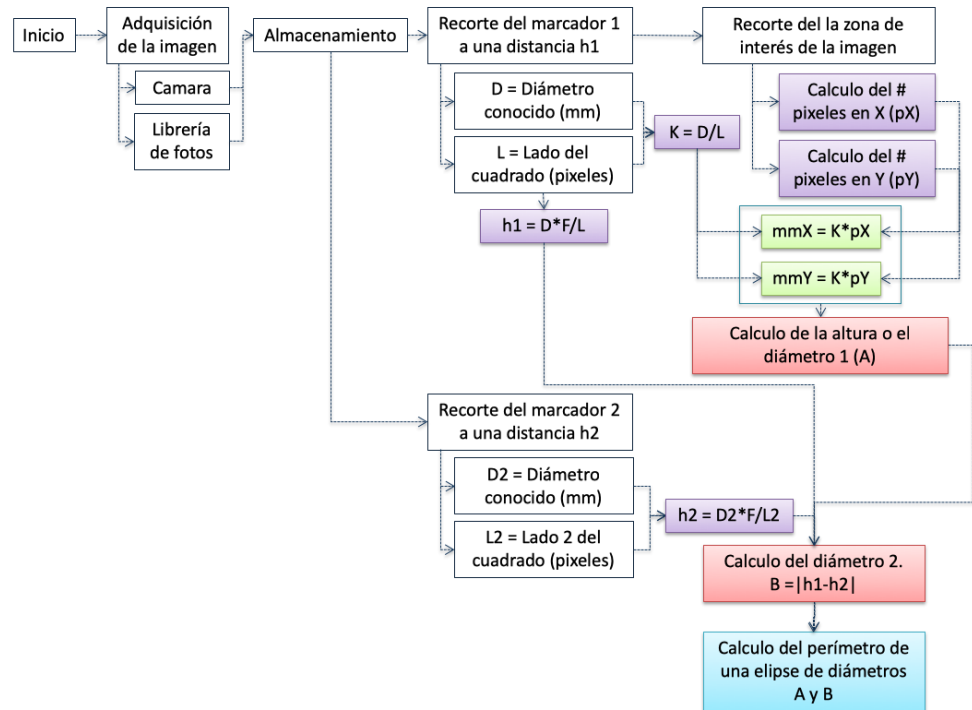


Figura 26. Diagrama de bloques de una app con recortes y marcadores.

Para evaluar el desempeño de la herramienta de medición que se creó, se tomaron las medidas de estatura y perímetro del brazo de 10 personas y del perímetro de la cabeza de 8 personas utilizando una cinta de medir de costura para los perímetros y una cinta métrica para medir la estatura. Luego, se tomaron tres fotos:

- Para la estatura: El usuario debía pararse junto a una botella de 1.5 L como se observa en la Figura 8.
- Para el perímetro braquial: Una foto como la que se observa en la Figura 9.

- Para el perímetro cefálico: Una foto como la que se observa en la Figura 10.

Luego se midió el perímetro del brazo y la cabeza de cada uno de ellos con un metro y la estatura con un flexómetro y una regla. Finalmente, se comparó cada uno de los resultados medidos con los de la app y se calculó el error entre ambos. Esto puede ser observado en la Tabla 6, la Tabla 7 y la Tabla 8.

Tabla 6. Resultados de la medición teórica vs medición con la app de la estatura

Medidas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Estatura medida (m)	1,65	1,7	1,6	1,63	1,54	1,59	1,595	1,795	1,76	1,6
Estatura app (m)	1,61	1,67	1,51	1,53	1,53	1,49	1,53	1,67	1,71	1,51
Error (%)	2,47%	1,98%	5,79%	6,35%	0,58%	6,19%	4,08%	6,96%	2,98%	5,60%

Tabla 7. Resultados de la medición teórica vs medición con la app del perímetro del brazo

Medidas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
P. B. Medido (cm)	26,3	29	23	25,5	27	26,9	25,5	29	25,5	28,5
P.B. App (cm)	29,90	31,17	22,28	28,55	31,67	23,56	18,39	35,51	20,89	21,55
Error (%)	13,71%	7,49%	3,11%	11,96%	17,30%	12,40%	27,87%	22,45%	18,06%	24,40%

Tabla 8. Resultados de la medición teórica vs medición con la app del perímetro de la cabeza

Medidas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
P. C. Medido (cm)	54	56,2	55	55	56	56	56	55
P. C. App (cm)	37,003803	42,798187	49,9	52,113026	57,889717	45,114563	42,39194	40,223996
Error (%)	31,47%	23,85%	9,27%	5,25%	3,37%	19,44%	24,30%	26,87%

El error promedio es de 4,30% para la medición de estatura, 15,88% para el perímetro del brazo y 16,05% para el perímetro de la cabeza.

Como puede observarse en las tablas anteriores las mediciones presentan errores muy variables, en otras palabras, hay tanto errores muy pequeños como errores muy grandes en las mediciones. La variación de los errores puede deberse a muchas razones.

El error humano al recortar los marcadores o los objetos. Esta es una de las fuentes de error más grandes del procesamiento de imágenes por medio de recortes, pues la precisión de las medidas depende en gran parte de la habilidad y precisión del usuario para recortar los objetos de interés en la imagen.

Además, mientras la medida del objeto sea mucho mayor al marcador, el error en la medición aumenta. Esto se debe a que siempre hay un error cuando se determina la relación entre píxeles y milímetros en una imagen, y a medida que aumentan los píxeles en el recorte, el error aumenta.

Por otro lado, la calibración de la distancia es una fuente de error en las mediciones del perímetro cefálico y del perímetro del brazo. No obstante, puede mejorarse realizando una calibración más rigurosa de la distancia focal con un mayor número de pruebas.

Por último, es importante tener en cuenta que cada foto es única y tiene sus propias características. Por lo que nunca se obtendrán las mismas medidas para un mismo objeto con dos fotos diferentes.

Algunos errores pueden disminuirse al recortar correctamente los marcadores y los objetos de interés en la imagen, o incluso mejorando la calibración de la distancia focal y buscando marcadores de mayor tamaño.

3.1.3.4 Ecuaciones de los patrones de crecimiento infantil

Con el objetivo de evaluar si un usuario se encuentra sano o no mediante la app se tomó la decisión de utilizar los patrones de crecimiento infantil propuestos por la OMS y que son utilizados a nivel internacional para determinar el estado nutricional de un niño.

Entre 1997 y 2003, la Organización Mundial de la Salud realizó un estudio multicéntrico sobre el patrón de crecimiento (MGRS) con el propósito de evaluar el crecimiento y el desarrollo de los niños en todo el mundo. Dicho estudio combinó un seguimiento longitudinal desde el nacimiento hasta los 24 meses de edad y un estudio transversal de los niños entre 18 y 71 meses. Se recogieron datos primarios sobre el crecimiento e información conexa de 8440 lactantes y niños pequeños saludables alimentados con leche materna con antecedentes étnicos y entornos culturales muy diversos (Brasil, Ghana, India, Noruega, Omán y E.E.U.U.). Dicho informe presenta el primer conjunto de patrones de crecimiento infantil de la OMS (a saber, longitud/estatura para la edad, peso para la edad, peso para la longitud, peso para la estatura e índice de masa corporal para la edad)(OMS - Departamento de Nutrición para la Salud y el Desarrollo, 2003).

En este trabajo, se tomaron las tablas correspondientes a los patrones de crecimiento mencionadas anteriormente y dicha información fue ingresada al software Matlab (MathWorks, 2018) para realizar una regresión y así encontrar las ecuaciones correspondientes al comportamiento de las

gráficas.

En

la

Patrones de Crecimiento Infantil de la OMS (0 - 5 años) - Niñas

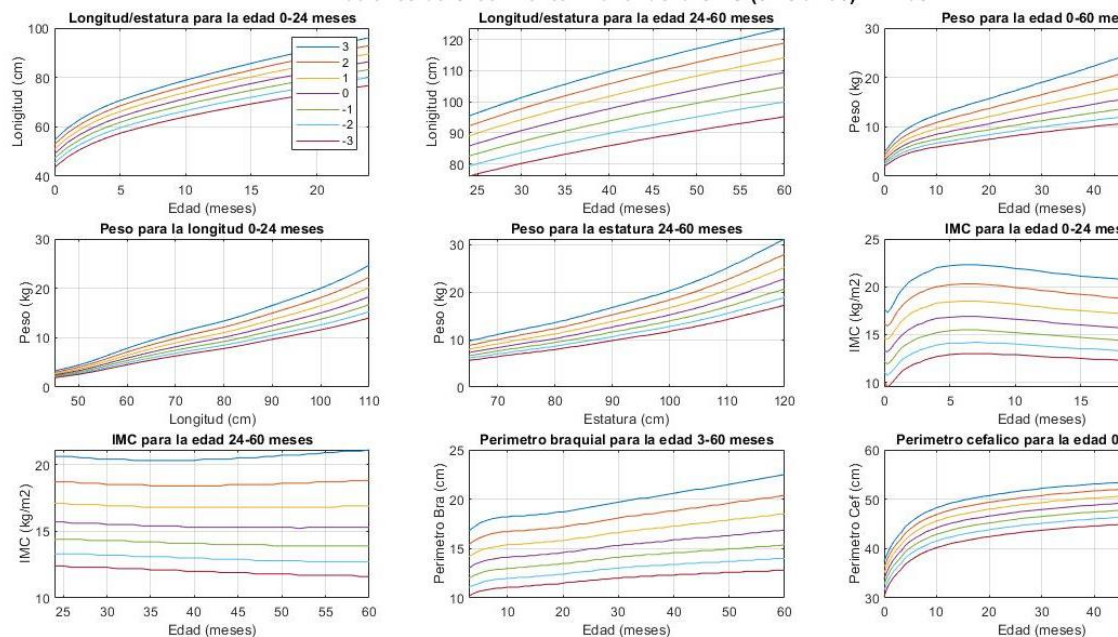


Figura 27 y la Figura 28 pueden observarse los resultados obtenidos al graficar la información proporcionada por la OMS para niñas y niños respectivamente. Las clasificaciones del estado nutricional basadas en dichas desviaciones estándar fueron descritas previamente en la Tabla 1.

Las ecuaciones descritas en el Anexo 1 son utilizadas para obtener un valor teórico de cada una de las variables de interés (peso, estatura, IMC, perímetro braquial, perímetro cefálico, entre otros) y compararlo con el valor experimental ingresado por el usuario previamente. Logrando así, clasificar al usuario con respecto a cada uno de los indicadores propuestos en la Tabla 1 y pudiendo generar una aproximación al estado nutricional del usuario.

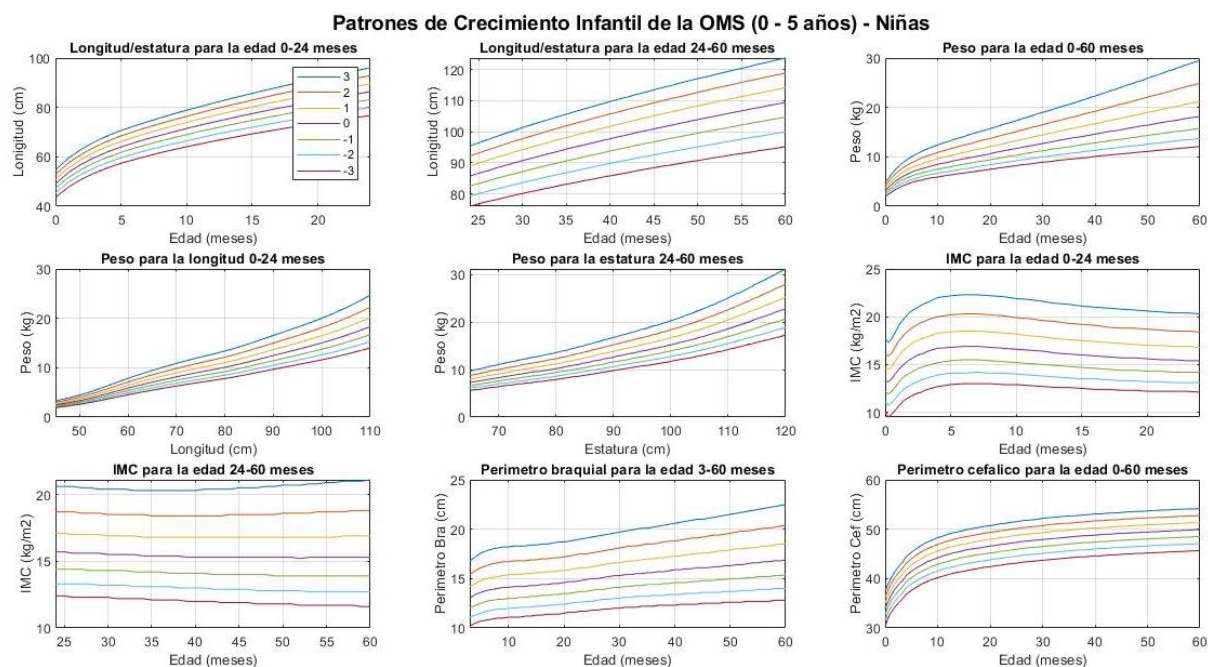
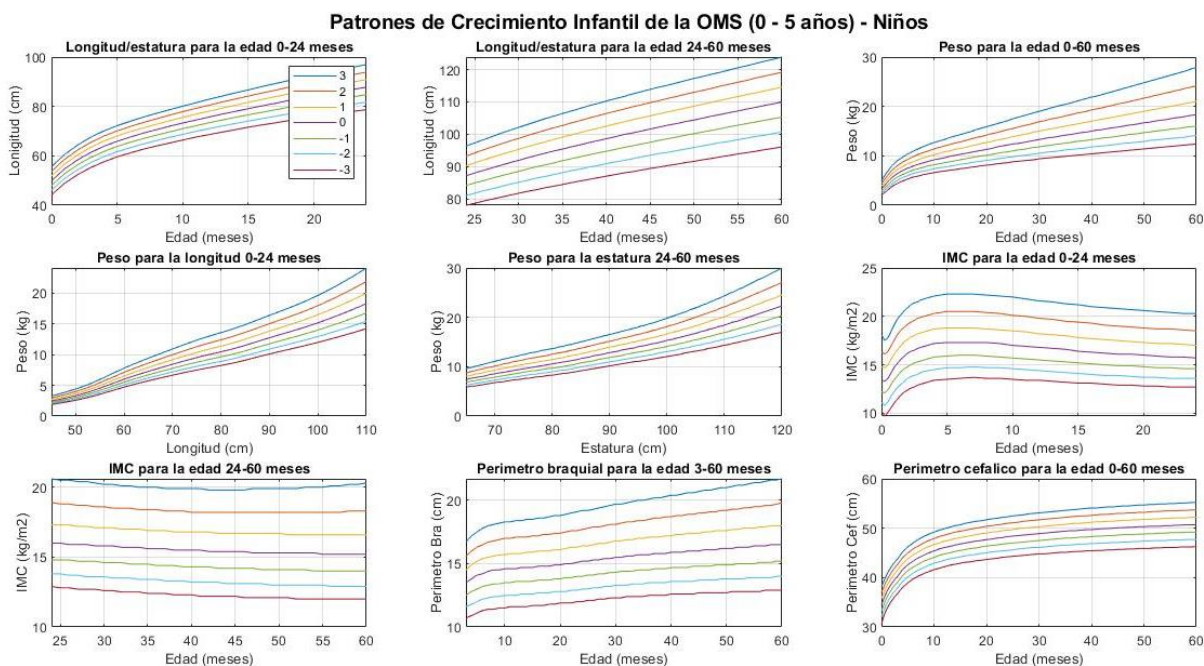


Figura 27. Patrones de crecimiento infantil de la OMS para niñas (OMS, 2014). El valor establecido como normal (en morado) corresponde a la desviación estándar 0, así como -1, -2, -3, 1, 2, y 3 desviaciones estándar de dicho valor.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 28. Patrones de crecimiento infantil de la OMS para niños (OMS, 2014). El valor establecido como normal (en morado) corresponde a la desviación estándar 0, así como -1, -2, -3, 1, 2, y 3 desviaciones estándar de dicho valor.

3.1.4 Funcionamiento de la aplicación móvil

Para evaluar el funcionamiento de la aplicación móvil, se realizaron una gran cantidad de pruebas durante el desarrollo de esta. Evaluar continuamente el desempeño y funcionamiento de la aplicación es un paso clave para garantizar que todas las acciones que la aplicación móvil debía realizar sí se completaran exitosamente y que la herramienta no se bloqueara durante su ejecución. El buen funcionamiento de esta herramienta garantiza una buena experiencia de usuario, además de garantizar que se pueda cumplir el objetivo principal para la cual fue diseñada.

Por lo anterior, se hace imprescindible un buen manejo de errores y retroalimentación del usuario, para que este último pueda valerse por sí mismo y pueda completar todas las tareas necesarias para llegar a un diagnóstico del estado nutricional de la persona. Por lo anterior, la aplicación cuenta con un gran número de alertas e instrucciones (incluso con imágenes) que sirven de guía para que el usuario siempre esté informado y seguro de las acciones que debe llevar a cabo, como puede verse en la Figura 29, la Figura 30, la Figura 31 y la Figura 32.

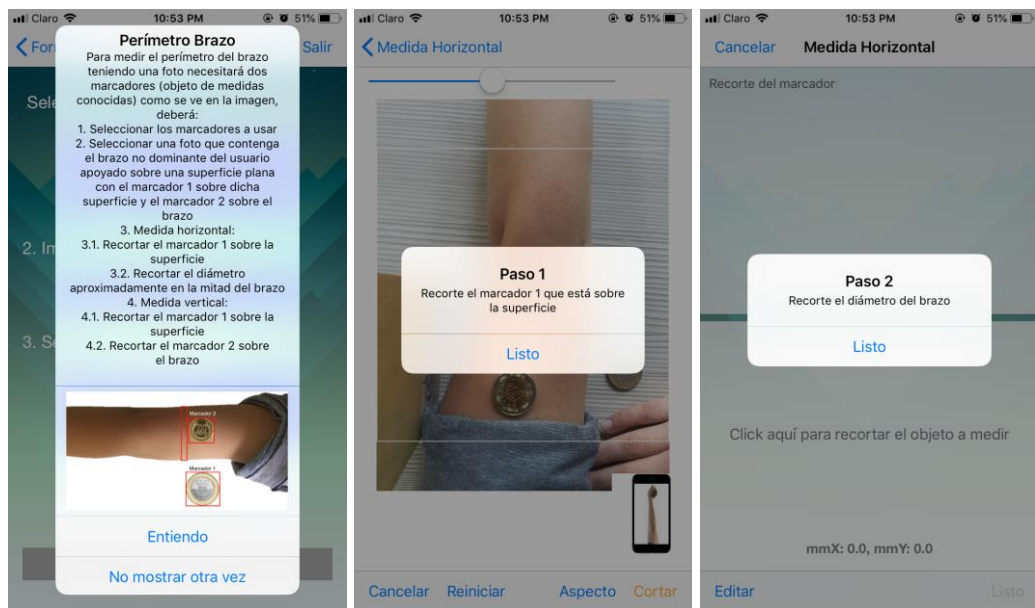


Figura 29. Instrucciones y alertas para realizar una medición del perímetro del brazo.

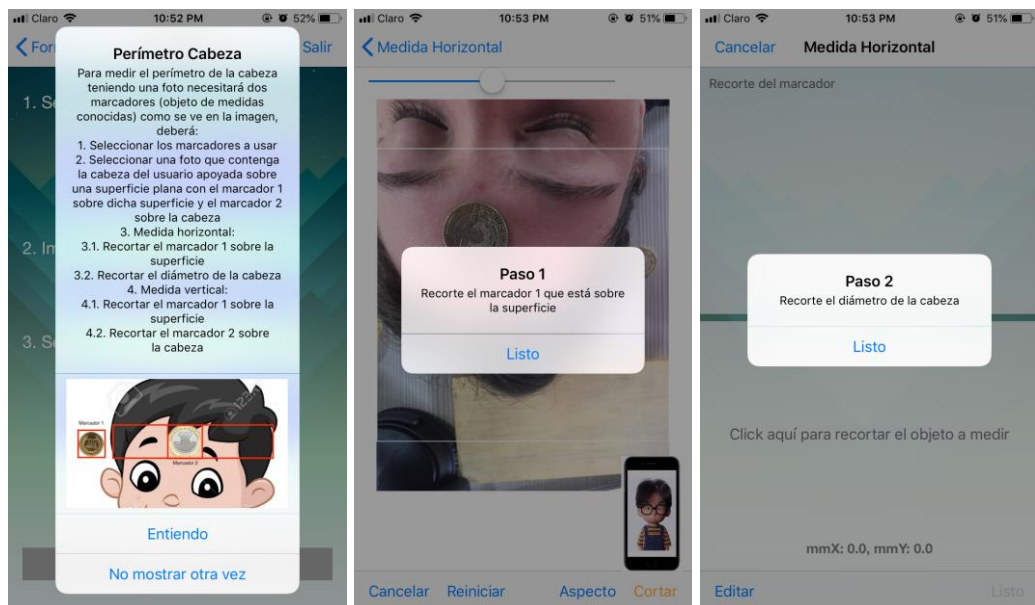


Figura 30. Instrucciones y alertas para realizar una medición de la cabeza.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

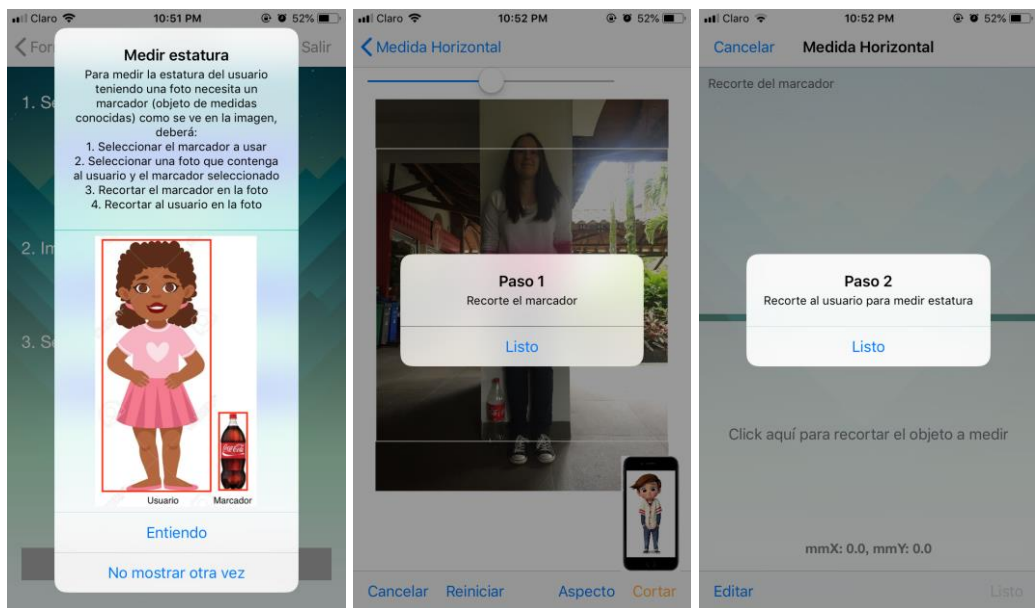


Figura 31. Instrucciones y alertas para realizar una medición de la estatura

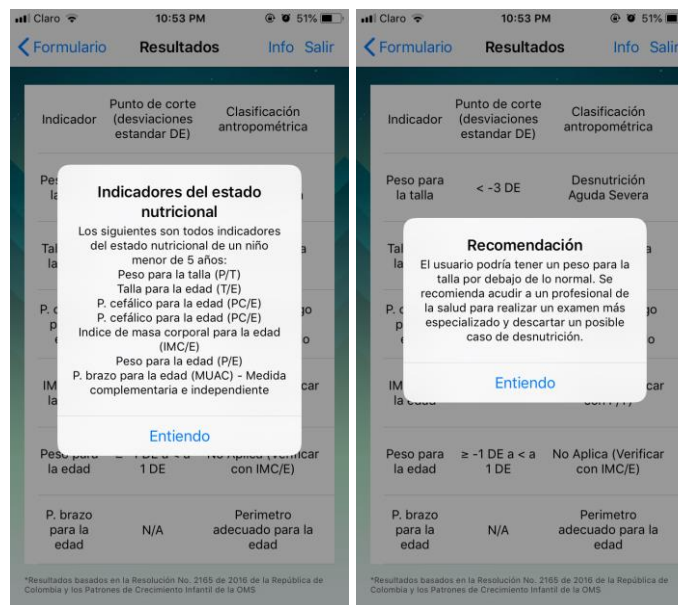


Figura 32. Alertas en la vista de resultados, a la izquierda se describen los indicadores del estado nutricional y a la derecha se muestra una recomendación basada en los resultados obtenidos.

A partir de la búsqueda bibliográfica, se logró definir los parámetros básicos necesarios para identificar casos de desnutrición y definir las características que debía tener la aplicación para su correcto funcionamiento. La aplicación tiene entonces como objetivo detectar de manera eficiente pacientes con desnutrición por medio de diferentes variables

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

antropométricas y haciendo uso de las ecuaciones planteadas en el Anexo 1 que hacen referencia a las tablas propuestas por la OMS y que son utilizadas a nivel mundial.

En caso de no tener una herramienta disponible para realizar mediciones de las variables, la app puede realizar mediciones de la estatura, el perímetro del brazo y el perímetro de la cabeza del usuario con un error promedio de 4,3%, 15,88% y 16,05%, respectivamente. Estos errores pueden deberse a: el error humano al recortar los marcadores u objetos; a que mientras la medida del objeto sea mucho mayor al marcador; el error en la medición aumenta; a la calibración; y a que cada foto es única y tiene sus propias características. Algunos de los errores mencionados pueden disminuirse si el usuario recorta de forma muy precisa los marcadores o los objetos de interés, realizando una mejor calibración de la distancia focal y buscando marcadores de mayor tamaño que se encuentren fácilmente en todo el territorio.

Por otro lado, poder realizar mediciones por medio de recortes, garantiza que una mayor cantidad de personas puedan acceder a esta herramienta sin tener a la mano un dispositivo móvil iOS de última generación. Teniendo en cuenta además que las poblaciones de bajos recursos son las que tienen una mayor probabilidad de presentar individuos con malnutrición (Organización Mundial de la Salud, 2018). No obstante, es claro que hoy en día, los dispositivos iOS más modernos pueden realizar mediciones muy precisas haciendo uso de la realidad aumentada. Adicionalmente, la toma de medidas con recortes se logra mediante el uso de marcadores, como monedas colombianas o una botella de 1.5L, que pueden encontrarse fácilmente en todo el territorio colombiano. Esto representa una gran ventaja, pues aumenta las probabilidades de realizar mediciones en cualquier lugar utilizando objetos comunes y un dispositivo móvil.

3.2 Objetivo 2: Creación de una base de datos para el almacenamiento de variables demográficas y antropométricas del paciente

3.2.1 Definición de los datos de importancia

Los datos de interés del usuario son:

1. Firebase ID.
2. Nombre.
3. Apellidos.
4. Identificación.
5. Email.
6. Género.

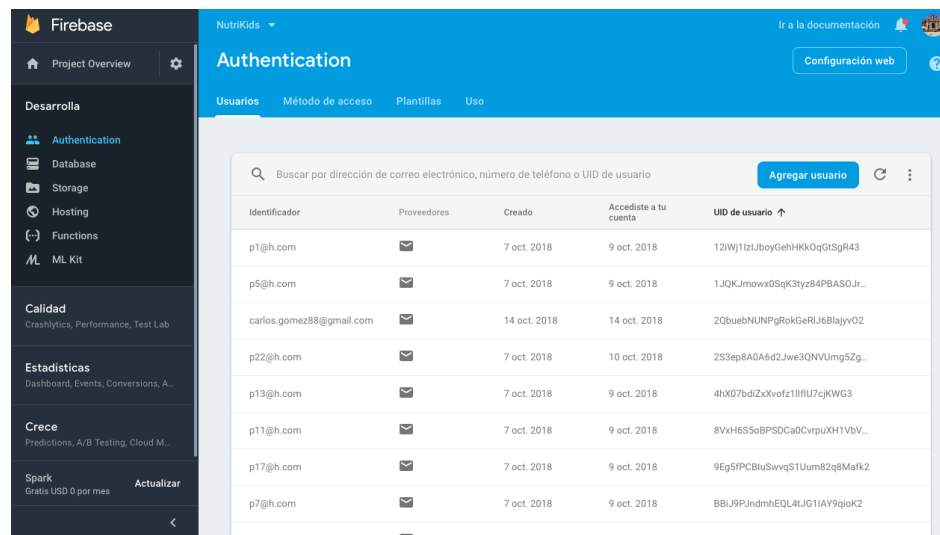
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

7. Fecha en que se realizó la prueba: Es importante para saber cuánto tiempo ha pasado desde el último diagnóstico.
8. Fecha de nacimiento.
9. Edad en meses: Es calculada con la fecha del nacimiento del usuario.
10. Variables antropométricas: Las siguientes son variables de importancia que según la OMS y la Resolución 2465 de 2016 sirven para determinar el estado nutricional de un niño menor a 5 años (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016; OMS, 2014).
 - a) Peso.
 - b) Estatura.
 - c) Perímetro del brazo.
 - d) Perímetro de la cabeza.
 - e) IMC: Este es calculado con el peso y la estatura.
 - f) Resultado o diagnóstico: Basado en los patrones de crecimiento de la OMS y la Resolución 2465 de 2016 de la República de Colombia. Se guarda la información en cada una de las columnas que se pueden ver en la Tabla 1. Cada columna tiene entonces 7 datos como puede observarse en la Figura 19.
 - i) Clasificación.
 - ii) Indicadores.
 - iii) Punto de corte.
11. Ubicación: Será de utilidad en un futuro para el análisis de varios usuarios y cuál es su distribución en el espacio.

3.2.2 Diseño de la base de datos

La Figura 33 muestra algunos ejemplos de los correos de usuarios que fueron guardados, y que son utilizados para autenticar la identidad de estos y diferenciarlos en la base de datos.

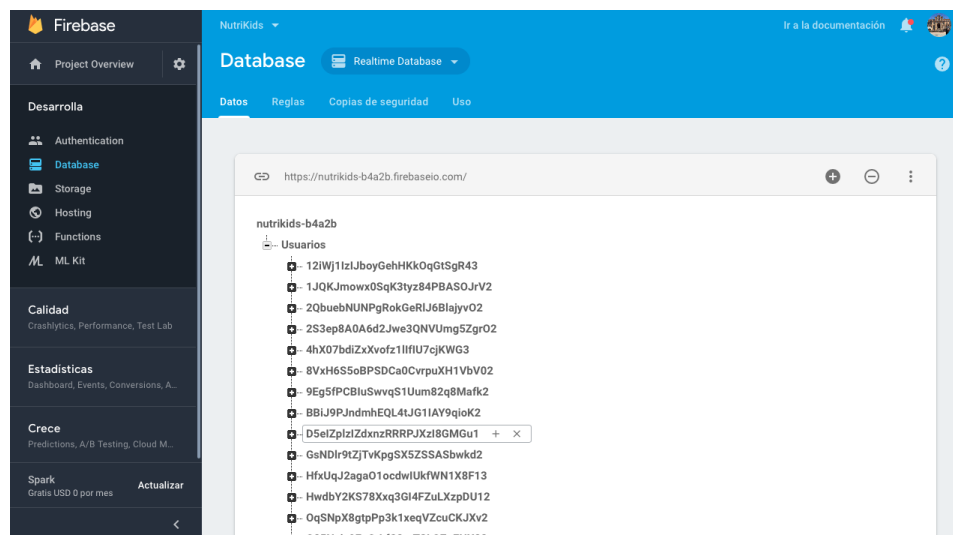
La base de datos que se implementó es de tipo OLTP (On-Line Transactional Processing) pues lo que se busca es crear, actualizar, leer o eliminar datos.



Identificador	Proveedores	Creado	Accediste a tu cuenta	UID de usuario
p1@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	12Wj1tZJboyGehHKkOqGtSgR43
p5@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	1JQKJmowx0SqK3tyz84PBASOJr...
carlos.gomez88@gmail.com	✉	14 oct. 2018	14 oct. 2018	2QbuebNUNPgRokGeRJ6BlajyvO2
p22@h.com	✉	7 oct. 2018	10 oct. 2018	2S3ep8AOA6d2Jwe3QNVUmg5Zg...
p13@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	4hX07bdiZxXvofz1lffU7cjKWG3
p11@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	8VxH6S5oBPSDCaOCvrpuXH1VbV...
p17@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	9Eg5PCBluswvqS1Uum82q8Mafk2
p7@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	BBUJ9PJndmhEQL4tJG1IAY9qioK2

Figura 33. Vista de algunos usuarios autenticados en Firebase

En la Figura 34 puede apreciarse el aspecto de la base de datos con usuarios que han sido guardados. Cada usuario tiene una identificación generada por Firebase automáticamente que permite volver a acceder a los datos guardados sobre ese usuario, así como que dichos datos sean eliminados, actualizados, leídos o agregados, tanto desde la aplicación como desde Firebase. Tanto la Figura 35 como la Figura 36 muestran la información que es guardada en la base de datos sobre cada uno de los usuarios.



Identificador	Proveedores	Creado	Accediste a tu cuenta	UID de usuario
p1@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	12Wj1tZJboyGehHKkOqGtSgR43
p5@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	1JQKJmowx0SqK3tyz84PBASOJr...
carlos.gomez88@gmail.com	✉	14 oct. 2018	14 oct. 2018	2QbuebNUNPgRokGeRJ6BlajyvO2
p22@h.com	✉	7 oct. 2018	10 oct. 2018	2S3ep8AOA6d2Jwe3QNVUmg5Zg...
p13@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	4hX07bdiZxXvofz1lffU7cjKWG3
p11@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	8VxH6S5oBPSDCaOCvrpuXH1VbV...
p17@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	9Eg5PCBluswvqS1Uum82q8Mafk2
p7@h.com	✉	7 oct. 2018	9 oct. 2018	BBUJ9PJndmhEQL4tJG1IAY9qioK2

Figura 34. Vista de la base de datos creada en Firebase

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

GsNDlr9tZjTvKpgSX5ZSSASbwkd2



Apellidos:	"8"
Edad meses:	"27"
Email:	"p8@h.com"
Estatura:	"83.8"
Fecha examen:	"9/10/2018"
Fecha nacimiento:	"01/07/2016"
ID:	"123456789"
IMC:	12.67365550994873
Imagen:	" "
MUAC:	"13"
Nombre:	"Paciente"
P Cefalico:	"49.5"
PesoKg:	"8.9"
 Resultado	
Sexo:	"Masculino"
 Ubicacion	

Figura 35. Datos guardados de un usuario

Resultado

Clasificación

0: "Clasificación antropométrica"

1: "Desnutrición Aguda Severa"

2: "Riesgo de talla baja"

3: "Normal"

4: "No Aplica (Verificar con P/T)"

5: "Desnutrición Global"

6: "Perimetro adecuado para la edad"

Indicadores

0: "Indicador"

1: "Peso para la talla"

2: "Talla para la edad"

3: "P. cefálico para la edad"

4: "IMC para la edad"

5: "Peso para la edad"

6: "P. brazo para la edad"

Punto de corte

0: "Punto de corte (desviaciones estandar DE)"

1: "< -3 SD"

2: "≥ -2 SD a < -1 SD"

3: "≥ -2 SD a ≤ 2 SD"

4: "≤ 1 SD"

5: "< -2 SD"

6: "N/A"

Ubicacion

Ciudad: "Medellin"

Dirección: "Calle 2S"

Latitude: "6.192768810186756"

Longitude: "-75.55121096070322"

País: "Colombia"

Region: "Antioquia"

Figura 36. Datos de Resultados y de Ubicación desplegados de un usuario

Tanto la base de datos como la autenticación de usuario funcionan en sintonía con la aplicación, y permiten crear un espacio que se mantiene actualizado. En dicho espacio se almacena el estado nutricional de un usuario menor a 5 años y sus datos demográficos. Esta información puede convertirse en una herramienta clave que a futuro puede servirle; tanto a entidades gubernamentales como no gubernamentales, para informarse sobre la desnutrición de niños menores a 5 años en Colombia y tomar decisiones más concretas para hacerle frente a dicha cuestión.

3.3 Objetivo 3: Verificación del desempeño de la aplicación desarrollada por medio de pruebas de funcionalidad y usabilidad

3.3.1 Prueba de Funcionalidad

Como se mencionó anteriormente, en el presente estudio se contó con una muestra de 30 historias clínicas de individuos con edades entre los 0 y 5 años, de las cuales se extrajo determinada información relevante para el estudio. De estos, 5 eran niñas, de las cuales ninguna presentaba desnutrición y 25 eran niños, de los cuales 6 presentan desnutrición en el peso para la talla.

En la Tabla 9 el control corresponde a la valoración realizada por los nutricionistas, y los valores de prueba corresponden a los resultados de la prueba diagnóstica obtenidos utilizando la app. Puede observarse que hubo 5 verdaderos positivos, es decir, tanto para la app como para el nutricionista el paciente tiene desnutrición. Además, hubo un falso negativo, donde el individuo si presentaba la enfermedad de acuerdo con el criterio clínico del especialista y la app lo clasificó como sano. Y finalmente, hubo 24 verdaderos negativos o casos donde tanto el nutricionista como la aplicación clasificaron a la persona como sana. En este estudio, no hubo falsos positivos, en otras palabras, la app no diagnosticó a ningún paciente como desnutrido cuando el criterio del especialista indicó que no lo estaba. La ausencia de falsos positivos y la baja cantidad de falsos negativos en este caso pueden deberse a que los resultados obtenidos están basados en ecuaciones que fueron calculadas utilizando los patrones de crecimiento de la OMS, así como a las limitaciones en el tamaño muestral. Una muestra pequeña, disminuye la potencia del estudio y aumenta la probabilidad del error tipo II, el cual se entiende como la falta de ocurrencia de un evento, no porque no suceda sino porque el tamaño muestral no es lo suficientemente grande para identificarlo.

De acuerdo con el Manual MC03 para Epidat 3.1 (Hernández Rodríguez & Universidad Nacional Autónoma de México, 2014), en caso de tener un valor igual a cero en la tabla de contingencia (Tabla 9), se recomienda reemplazarlo por 0,5 para evitar que otros valores calculados posteriormente que dependen de este resultado, se vean afectados. Por lo tanto, el valor de falsos positivos en la Tabla 9 es 0,5.

Tabla 9. Relación entre el resultado de una prueba diagnóstica y la presencia o ausencia de desnutrición en niños menores a 5 años

Recuento		Control (Criterio clínico del especialista)		Total
		Si	No	
Prueba (NutriKids)	Si	5	0,5	5
	No	1	24	25
Total		6	24	30

A partir de la Tabla 9 se procede a calcular los valores de sensibilidad y especificidad de la prueba, así como los valores predictivos positivos y negativos y los cocientes de probabilidad positivo y negativo, como puede observarse en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores de Sensibilidad, Especificidad, Valores Predictivos y Cocientes de Probabilidad para diagnosticar desnutrición en muestra de población infantil de la Fundación FAN

Criterio	Resultado
Sensibilidad (S)	83,33%
Especificidad (E)	97,96%
Valor predictivo positivo (VPP)	90,91%
Valor predictivo negativo (VPN)	96%
Cociente de probabilidad positivo (CP+)	40,85
Cociente de probabilidad negativo (CP-)	0,17

El 83,33% de los casos diagnosticados como positivos por el nutricionista son diagnosticados por la aplicación como positivos. Además, el 97,96% de los casos clasificados como negativos por el profesional de la salud son diagnosticados por la aplicación como negativos.

Para hallar la precisión de la especificidad y la sensibilidad se utiliza el método para cálculo de tamaño de muestra de Epidat (Dirección Xeral de Saúde Pública, 2005) partiendo de los siguientes supuestos: la prevalencia de la desnutrición aguda en Medellín es del 1,95% para los niños y niñas menores de a 5 años de acuerdo con una base de datos de seguimiento Nutricional Infantil procesada por la Unidad de Gestión de la Información y el Conocimiento, Secretaría de Salud de

Medellín y creada por SENIN (SENIN, 2015); un nivel de confianza del 95% y una muestra de 30 historias clínicas. La precisión de la sensibilidad hallada es de 96,011%, es decir que, la prueba tiene una alta sensibilidad, o que la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo enfermo tiene una precisión muy alta. La precisión de la especificidad es de 3,596%, en otras palabras, la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo sano tiene una precisión muy baja.

Por otro lado, las medidas de seguridad indican que en un 90,91% de los pacientes diagnosticados con la app finalmente se confirmó la presencia de desnutrición, mientras que de los que no se detectaron casos de desnutrición el 96% estaban efectivamente sanos.

Como puede observarse en la fórmula presentada a continuación, el CP+ indica cuánto más probable es tener un positivo en un enfermo que en un sano. Para este caso, el valor de CP+ es 40,85, es decir, por cada 100 pacientes sanos, que fueron diagnosticados como negativos, se diagnostican 40,85 pacientes enfermos como positivos. El CP- indica cuánto más probable es encontrar un negativo en un enfermo que en un sano, y para esta prueba es de 0,17, es decir, por cada 100 pacientes sanos que fueron diagnosticados como negativos, se diagnostican 0,17 pacientes enfermos como negativos.

3.3.2 Prueba de Usabilidad

Se encuestaron a 15 personas entre los 19 y 41 años. Como se puede ver en la Figura 37, el 73% de los entrevistados estaban entre los 18 y 25 años. Además, el 67% eran mujeres y el 33% de los encuestados eran hombres.

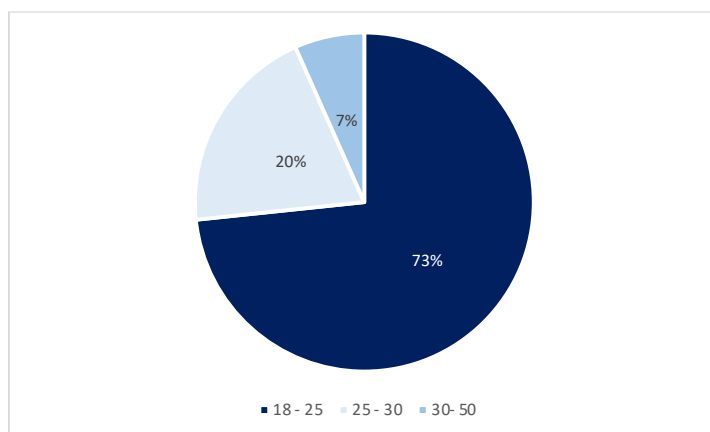


Figura 37. Distribución de los usuarios encuestados por edades en rangos

Además, todos los usuarios encuestados tenían un Smartphone y se encontraban familiarizados con estos. En cuanto al tipo de Smartphone, el 47% de estos tenía un dispositivo iOS y el 53% tenía un dispositivo Android. Por otro lado, ninguno de ellos conocía una app como la que se propone en este trabajo, pero todos piensan que puede ser una herramienta útil.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Luego, se realizó la prueba de Shapiro – Wilk, utilizada probar la normalidad de un conjunto de datos, con un valor p menor a 0,01. En este caso, ninguna de las secciones evaluadas presenta una distribución normal. Por lo tanto, se reportarán la mediana con el rango intercuartil de los datos divididos por las secciones de la encuesta, como puede observarse en la Tabla 11. Dichas secciones presentan una escala de 0 a 9 para su evaluación, siendo 0 la peor y 9 la mejor reacción.

Tabla 11. Resultados generales de la encuesta Quis 7

Medida de satisfacción	Mediana \pm Rango intercuartílico
Reacciones generales del usuario	8,00 \pm 2,00
Pantalla	9,00 \pm 2,00
Terminología e información del sistema	9,00 \pm 1,00
Aprendizaje	8,00 \pm 2,00
Capacidades del sistema	9,00 \pm 1,00
Aspectos técnicos	9,00 \pm 1,00
Usabilidad e interfaz de usuario	9,00 \pm 1,50

De acuerdo con los resultados presentados, en las secciones de “Reacciones generales del usuario” y “Aprendizaje” el 50% de las respuestas están por encima de 8 con un rango intercuartílico de 2. Esto significa que, en términos generales, más del 75% de los encuestados calificaron como excelente o muy buena la aplicación, tanto en las reacciones generales como en el proceso de aprendizaje para el uso de la app.

En la sección de “Pantalla”, la mitad de las respuestas de los encuestados se encuentran en 9, con un rango intercuartílico de 2. Esto significa que, las tres cuartas partes de las personas encuestadas calificaron como excelente o muy buenas las preguntas sobre los caracteres en la pantalla, el tipo de letra, la organización y secuencia de la información en la pantalla, la secuencia de las pantallas, entre otros factores evaluados.

Para las secciones de “Terminología e información del sistema”, donde se evalúa la terminología, instrucciones e información brindada por la app; “Capacidades del sistema”, que tiene en cuenta la velocidad, desempeño y corrección de errores; y “Aspectos técnicos”, el 75% de las respuestas fueron superiores a 8, lo que implica una alta satisfacción con lo evaluado en esta sección.

Por último, en la sección de “Usabilidad e interfaz de usuario” al menos la mitad de las respuestas son 9 con un rango intercuartílico de 1,5. En esta sección se

evalúan el uso de colores, la realimentación del sistema y los mensajes e información. El resultado anterior significa que más del 50% de los usuarios considera excelente la usabilidad de la app y la interfaz de usuario de esta.

4 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

4.1 CONCLUSIONES

Las aplicaciones móviles son cada vez más utilizadas en el ámbito de la medicina por su flexibilidad y facilidad de uso. La mayor parte de la información clave de un paciente que es recolectada está comprendida por una gran cantidad de resultados individuales que luego podrían ser procesados y almacenados por herramientas computacionales. Adicionalmente, hay una gran diversidad de teléfonos y tabletas inteligentes en el mercado que son utilizadas para el entretenimiento, pero que pueden convertirse en una ventaja para el campo de la medicina si se desarrollan apps que potencialicen su uso, como la presentada en este trabajo de grado.

Se desarrolló una app para iOS que permite evaluar el estado nutricional de un individuo menor a cinco años. El resultado se muestra de acuerdo con la Resolución 2465 de 2016 de la República de Colombia (véase la Tabla 1). El diagnóstico se basa en las tablas y graficas de la OMS para los parámetros de valoración nutricional en niños. Se obtuvieron ecuaciones de las gráficas que fueron luego ingresadas a la aplicación móvil para evaluar el estado nutricional del paciente. La aplicación móvil puede diagnosticar: riesgo de sobrepeso, sobrepeso, obesidad, riesgo de desnutrición, desnutrición moderada o desnutrición aguda. Esto, siempre y cuando el usuario ingrese la información necesaria para su análisis.

La app permite, además, realizar una estimación de la estatura, del perímetro del brazo o del perímetro cefálico por medio de recortes y marcadores en una foto. Esto en caso de que no se conozcan dichas variables antropométricas. Las medidas tienen un error promedio de 4,3%, 15,88% y 16,05% para la estatura, el perímetro del brazo y el perímetro cefálico, respectivamente. Estos errores pueden deberse, en gran medida al error humano al recortar objetos en la imagen, a que mientras la medida del objeto sea mucho mayor al marcador, el error en la medición aumenta; a la calibración y a que cada foto es única. Algunos de los errores mencionados pueden disminuirse al realizar recortes más precisos los objetos de interés, realizando una mejor calibración de la distancia focal y buscando marcadores de mayor tamaño que se encuentren fácilmente en todo el territorio.

Es importante mencionar que, los marcadores que fueron elegidos para este trabajo fueron seleccionados de tal forma que puedan ser encontrados fácilmente en cualquier parte del territorio colombiano. Permitiendo que una mayor cantidad de la población pueda realizar mediciones con la app si así lo desean.

En este trabajo se tomó la determinación de realizar mediciones por medio de recortes, para así garantizar que una mayor cantidad de personas puedan acceder a esta herramienta, sin tener a la mano un dispositivo móvil iOS de última generación. Es claro que hoy en día, los dispositivos iOS más modernos pueden

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

realizar mediciones muy precisas haciendo uso de la realidad aumentada. Pero se debe tener en cuenta que las poblaciones de bajos recursos son las que tienen una mayor probabilidad de presentar individuos con malnutrición, y que son estas las que tienen menos acceso a los dispositivos más modernos disponibles en el mercado.

Se creó, además, una base de datos en Firebase, una herramienta de Google que permite almacenar datos, autenticar usuarios, analizar el desempeño de la app, entre otros. Esta base de datos se actualiza en sincronía con la app, mantiene los datos organizados, seguros, y permite el escalamiento, pues si a futuro es necesario aumentar el espacio para el almacenamiento de datos, esta herramienta permite hacerlo fácilmente. Firebase representa una gran ventaja pues automatiza el almacenamiento de los datos, simplificando en gran medida la programación necesaria, y por ende los errores, y además almacena la información en un lugar seguro y respaldado por una empresa como Google.

Para evaluar la herramienta desarrollada se realizaron pruebas de funcionalidad y usabilidad de la aplicación móvil. La funcionalidad de la app fue evaluada con un estudio descriptivo transversal utilizando 30 historias clínicas de niños menores de 5 años. De esta prueba se concluye que, se debe tomar una muestra más grande para poder realizar una validación concluyente de esta herramienta. En definitiva, es sumamente importante el saber valorar la validez y seguridad de las diferentes pruebas diagnósticas con el fin de seleccionar la más adecuada en cada momento. La sensibilidad, la especificidad y los valores predictivos son los criterios tradicionalmente utilizados para valorar la capacidad predictiva de una prueba. Sin embargo, existen determinados aspectos en el diseño de este tipo de estudios que pueden afectar a la precisión y a la validez de las estimaciones realizadas. Por ejemplo, cuando en una o más casillas de la Tabla 9 (tabla donde se compara el control con la prueba a evaluar) aparece un cero, de modo que, la especificidad o la sensibilidad resultan de 100%, se restringe la credibilidad de las conclusiones (Duffau T., 1998). La población de estudio, la estrategia de muestreo, la selección del criterio de referencia y la forma de aplicación de las pruebas diagnósticas, serán algunos de los elementos a tener en cuenta para evitar la presencia de sesgos en la prueba (Fernández et al., 2003).

Para evaluar la usabilidad, se les realizó una encuesta de satisfacción a 15 usuarios. De los resultados obtenidos en prueba se puede concluir que, la mayoría de los usuarios que realizaron la encuesta manifestaron estar satisfechos con la aplicación móvil. Además, todos los usuarios lograron cumplir con todas las tareas propuestas en la metodología. En general, calculando la mediana y el rango intercuartílico de todas las secciones evaluadas, los resultados obtenidos fueron muy buenos o excelentes, de acuerdo con la clasificación propuesta en la metodología. Esto puede deberse, en gran medida, a que la app tiene una gran cantidad de instrucciones y ayudas para guiar al usuario hacia el resultado deseado. Es importante mencionar que, para evitar sesgos de medición, todas las pruebas fueron realizadas a partir de la misma herramienta, un iPhone 6 que ya tenía la aplicación móvil instalada.

En definitiva, se desarrolló una app funcional que puede brindar un panorama más claro al diagnosticar y almacenar información sobre el estado nutricional de un individuo menor de 5 años. Además, se creó una base de datos que sirve de guía para organizaciones enfocadas a resolver el problema de la desnutrición infantil, proporcionando información clave que permita direccionar más adecuadamente las ayudas que hoy existen para que lleguen a las poblaciones más necesitadas, ayudando así a reducir las repercusiones de la desnutrición en los niños de Colombia, tanto inmediatas como a futuro.

4.2 CONSIDERACIONES FUTURAS

4.2.1 Nuevas funcionalidades

La ventaja del desarrollo de aplicaciones es su versatilidad. En este caso, la app puede ser complementada de muchas formas, como que pueda generar recomendaciones sobre una dieta que se debe seguir, que envíe información sobre alimentación basada en los resultados al correo utilizado para crear un usuario o que incluso permita contactar directamente a un especialista para resolver dudas sobre el estado nutricional de un paciente pediátrico.

4.2.2 Toma de medidas con la app

La herramienta desarrollada puede ser sometida a una gran cantidad de mejoras, sobre todo en toma de medidas por medio de recortes, pues los errores en las mediciones podrían ser disminuidos considerablemente si se implementa otra estrategia de procesamiento, como lo es el procesamiento de imágenes por medio de OpenCV. En este caso, el usuario solo tendría que seleccionar la imagen de interés y el dispositivo realizaría todo el trabajo de reconocimiento del marcador en la imagen y del objeto a medir, por lo que los errores humanos se reducirían y solo quedaría el error del software.

4.2.3 Base de datos

En el futuro, la información de la base de datos podría ser exportada a una página web que permita visualizar más claramente la distribución de los diferentes estados nutricionales de los niños en Colombia en función de su edad, sexo, ubicación, entre otros. Permitiendo así, que organizaciones interesadas en el tema tomen decisiones con información más concreta sobre la situación de la nutrición en Colombia. Además, sería ideal que esta herramienta también estuviera disponible para tabletas y dispositivos con otro sistema operativo diferente a iOS, como Android. También, se recomienda implementar la autenticación por medio de una identificación del usuario.

4.2.4 Pruebas de funcionalidad y usabilidad

Las pruebas de funcionalidad y usabilidad deberán realizarse en una muestra representativa de la población, permitiendo así obtener resultados más claros y concluyentes de ambos aspectos evaluados en la app.

4.2.5 Aspectos legales

Realizar una consulta sobre los aspectos legales del desarrollo de una aplicación es esencial, pues conocer y cumplir con toda la normativa establecida para su desarrollo puede facilitar su uso futuro y comercialización. No obstante, este trabajo está enfocado exclusivamente en el desarrollo de una app y no la comercialización de esta, por lo tanto las siguientes son consideraciones futuras para tener en cuenta.

- **Derechos propios y de terceros:** Las apps son una composición de librerías de programación, bases de datos, elementos gráficos, música, textos, entre otros. Por lo anterior, se debe contar con las debidas licencias.
- **Menores:** Esta herramienta recolecta datos sobre menores, por lo que debe tenerse en cuenta la legislación en materia de consumidores y usuarios, derechos de imagen y protección de datos. Además, se debe obtener el consentimiento de un adulto responsable para adquirir y almacenar información de un menor de edad.
- **Privacidad y geolocalización:** La información recolectada debe limitarse a la mínima necesaria y el usuario tiene que tener la posibilidad de controlar, en la medida de lo posible, su configuración de privacidad. Para la geolocalización debe obtenerse el consentimiento, específico e informado del usuario, además de advertir de los fines para los cuales se van a usar dichos datos. Sin olvidar la facultad de revocar el consentimiento del usuario en cualquier momento. Esto teniendo en cuenta la ley 1581 de 2012 por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales en Colombia.
- **Licencia de uso y condiciones:** Se deben incluir los aspectos mencionados anteriormente, así como la licencia de uso. El usuario deberá aceptarla para poder hacer uso de la app.
- **Permisos:** En este caso, la app deberá acceder a la cámara y a la ubicación del dispositivo móvil. Para esto se debe informar claramente al usuario y se le debe solicitar claramente y validar el permiso para acceder a ambas funcionalidades, además de ofrecerle al usuario la opción de cambiar de opinión durante el proceso de aceptación.

REFERENCIAS

- Alarcón, J. M. (2015). ¿Objective-C o Swift? Qué lenguaje aprender para programar en iOS. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <https://www.campusmvp.es/recursos/post/Objective-C-o-Swift-Que-lenguaje-aprender-para-programar-en-iOS.aspx>
- Alcaldía de Medellín. (2016). *Perfil Demográfico 2016-2020 Total Medellin*. Medellín. Recuperado de https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/Plan deDesarrollo_0_17/IndicadoresyEstadsticas/Shared Content/Documentos/ProyeccionPoblacion2016-2020/Perfil Demográfico 2016 - 2020 Total Medellin.pdf
- Apple. (2018). Xcode. Recuperado de <https://developer.apple.com/xcode/>
- Barnett, I., Sulisty, S., Befani, B., KariSari, K., Sharmin, S., & Dewi, D. (2016). *Mixed-Method Impact Evaluation of a Mobile Phone Application for Nutrition Monitoring in Indonesia*. Recuperado de https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/123456789/12077/ER200_MixedMethodImpactEvaluationofaMobilePhoneApplicationforNutritionMonitoringinIndonesia.pdf;jsessionid=BEBBC1B13D8CB699C663477A01805CD1?sequence=1
- BBC News Mundo. (2016). Qué es la realidad aumentada, cómo se diferencia de la virtual y por qué Apple apuesta fuertemente a ella. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37678017>
- Bustamante-sandoval, M., Becerra-vallejos, J., & Arias-facundo, I. (2012). Validez, seguridad, utilidad y exactitud de circunferencia de cintura para diagnosticar obesidad en población adulta de establecimientos, 5(2006), 21–25.
- Caracol Radio. (2017). Día de Internet en Colombia: Siete de cada 10 colombianos usa un dispositivo conectado a internet. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de http://caracol.com.co/radio/2017/05/17/tecnologia/1495029414_532189.html
- Cazorla, J. (2015). Swift, nuevo lenguaje de Apple. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <https://coditramuntana.com/es/blog/la-necesidad-de-pasarse-a-swift-el-nuevo-lenguaje-de-apple>
- Chin, J. P., Diehl, V. A., Norman, K. L., & Norman, L. K. (1988). Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, (January), 213–218. <https://doi.org/10.1145/57167.57203>
- Codementor Team. (2015). How to Become a Programmer: 8 Steps to Building an App from Scratch. Recuperado el 15 de octubre de 2017, de <https://www.codementor.io/codementorteam/how-to-build-app-from-scratch-beginner->

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

programmer-7z0atq56w

- Comité Expertos de la OMS sobre el Estado Físico. (1983). *EL ESTADO FÍSICO: USO E INTERPRETACIÓN DE LA ANTROPOMETRÍA*. Ginebra. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42132/1/WHO_TRS_854_spa.pdf
- Congreso de Colombia. (2012). *LEY ESTATUTARIA 1581 DE 2012*. Bogotá. Recuperado de [https://www.sisben.gov.co/Documents/Información/Leyes/LEY TRATAMIENTO DE DATOS - LEY 1581 DE 2012.pdf](https://www.sisben.gov.co/Documents/Información/Leyes/LEY%20TRATAMIENTO%20DE%20DATOS%20-%20LEY%201581%20DE%202012.pdf)
- Congreso de Colombia, E. (2006). Ley 1098 de 2006 - Código de la Infancia y la Adolescencia. Recuperado de [http://www.ins.gov.co/normatividad/Leyes/LEY 1098 DE 2006.pdf](http://www.ins.gov.co/normatividad/Leyes/LEY%201098%20DE%202006.pdf)
- Cuello, J., & Vittone, J. (2013a). Capítulo 8: Diseño visual. En Catalina Duque Giraldo (Ed.), *Diseñando apps para móviles*. Recuperado de <http://appdesignbook.com/es/contenidos/disenio-visual-apps-nativas/>
- Cuello, J., & Vittone, J. (2013b). *Diseñando apps para móviles*. (C. Duque Giraldo, Ed.) (1a ed.). Recuperado de [http://www.catedranaranja.com.ar/taller4/notas_T4/Disenando_apps_para_moviles_C AP.5.pdf](http://www.catedranaranja.com.ar/taller4/notas_T4/Disenando_apps_para_moviles_CAP.5.pdf)
- Dirección Xeral de Saúde Pública. (2005). Epidat. Recuperado de [https://www.sergas.es/Saude-publica/Epidat-3-1-descargar-Epidat-3-1-\(espanol\)](https://www.sergas.es/Saude-publica/Epidat-3-1-descargar-Epidat-3-1-(espanol))
- Doctors without borders. (2013). Mauritania: Significant needs remain for Malian refugees in Mbera camp | MSF UK. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://www.msf.org.uk/article/mauritania-significant-needs-remain-malian-refugees-mbera-camp>
- Duffau T., G. (1998). Tamaño muestral en estudios sobre pruebas diagnósticas. *Revista chilena de pediatría*, 69(3), 122–125. <https://doi.org/10.4067/S0370-41061998000300008>
- Elipse. (s/f). Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/elipse/>
- Enriquez, J. G., & Casas, S. I. (2014). *Pruebas de Usabilidad Flexibles para Aplicaciones Móviles*. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41420/Documento_completo.pdf?sequence=1
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2017). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-l7695s.pdf>
- Fernández, P., Org, S. S., Díaz, P., & Org, S. S. (2003). *Pruebas diagnósticas*. A Coruña. Recuperado de www.fisterra.com

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Flipkart. (2018). Ibismedical Muac Measurement Tape (26.5 Imperial).

Frank, T. (2017). *A mobile health application to manage acute malnutrition - Lessons from developing and piloting the app in five countries* (Vol. 1). Recuperado de http://www.transformnutrition.org/wp-content/uploads/sites/3/2017/04/TN_WorkingPaper1_MobileApp_Online.pdf

Gobernación del Valle del Cauca. (2007). Morbilidad. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de <http://www.valledelcauca.gov.co/salud/publicaciones.php?id=2455>

Gobierno de Colombia. (2018). De Cero a Siempre. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <http://www.deceroasiempre.gov.co/QuienesSomos/Paginas/QuienesSomos.aspx>

Gobierno de Colombia, ICBF, Instituto Nacional de Salud, & Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas. (2010). Nuevos Patrones de Crecimiento para Colombia Contenido. Risaralda. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=2ahUK Ewik7dSH_azeAhXKx1kKHW2yCA4QFjAHegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.risaralda.gov.co%2Fsalud%2Fdescargar.php%3FidFile%3D26610&usg=AOvVaw2xvtlxQcXJZWPaAOretM2r

Google, & Firebase. (2018). Firebase Realtime Database. Recuperado el 18 de octubre de 2018, de <https://firebase.google.com/docs/database/>

Hebden, L., Cook, A., van der Ploeg, H. P., & Allman-Farinelli, M. (2012). Development of smartphone applications for nutrition and physical activity behavior change. *JMIR research protocols*, 1(2), e9. <https://doi.org/10.2196/resprot.2205>

Hernández Rodríguez, J. R., & Universidad Nacional Autónoma de México. (2014). *MC03 Manual Epidat 3.1 Ayuda Tablas de contingencia - Epidemiología Clínica y Medicina Basada en Evidencias*. Recuperado de <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/epidemiologia-clinica-y-medicina-basada-en-evidencias/resumenes/mc03-manual-epidat-31-ayuda-tablas-de-contingencia/1695991/view>

Human-Computer Interaction Laboratory (HCIL). (1988). QUIS7. Maryland. Recuperado de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&ved=2ahUK EwigpsWcgbDeAhVKwFkKHe46B9oQFjANegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.reginfo.gov%2Fpublic%2Fdo%2FDownloadDocument%3FobjectID%3D59651101&usg=AOvVaw0bHzWWCZuhW3h2IIW4Qwvv>

IBM. (2016). SPSS. Recuperado de <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>

ICBF. (2018). Estrategia de Atención y Prevención de la Desnutrición Infantil. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/estrategia->

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

atencion-prevencion-desnutricion-infantil

- Intel Corporation, Willow Garage, & Itseez. (2018). OpenCV. Recuperado de <https://opencv.org>
- ISO. (2008). ISO 9241-304:2008(en), Ergonomics of human-system interaction — Part 304: User performance test methods for electronic visual displays. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-304:ed-1:v1:en>
- Korich. (2018). IGRPhotoTweaks. Recuperado el 22 de noviembre de 2018, de <https://github.com/IGRSoft/IGRPhotoTweaks>
- Krebs, P., & Duncan, D. T. (2015). Health App Use Among US Mobile Phone Owners: A National Survey. *JMIR mHealth and uHealth*, 3(4), e101. <https://doi.org/10.2196/mhealth.4924>
- Lacalle, A. (2008). Usabilidad y funcionalidad. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <http://albertolacalle.com/hci/funcionalidad-usabilidad.htm>
- López de Ullibarri Galparsoro, I., & Pita Fernández, S. (2001). *Curvas ROC*. A Coruña. Recuperado de www.fisterra.com
- Luna Caicedo, L. O., & Vargas Triana, I. A. (2008). *LA MALNUTRICIÓN INFANTIL EN NIÑOS Y NIÑAS DE 0 A 5 AÑOS DE EDAD DE LOS BARRIOS LA CITA, EL PITE, DON BOSCO Y LAS BRISAS EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN*. Universidad de San Buenaventura. Recuperado de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/43232.pdf>
- Martínez-Pérez, B., de la Torre-Díez, I., & López-Coronado, M. (2013). Mobile health applications for the most prevalent conditions by the World Health Organization: review and analysis. *Journal of medical Internet research*, 15(6), e120. <https://doi.org/10.2196/jmir.2600>
- MathWorks. (2018). Matlab. Recuperado de <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- Medina, M. C. (2011). Generalidades de las pruebas diagnósticas y su utilidad en la toma de decisiones médicas. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 40(4), 787–797. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcp/v40n4/v40n4a15.pdf>
- Mejía Llano, J. C. (2011). Portal móvil o aplicación móvil (app): ¿cuál es mejor para su negocio? - Marketing Digital. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de <http://www.elcolombiano.com/blogs/marketingdigital/portal-movil-o-aplicacion-movil-app-¿cual-es-mejor-para-su-negocio/2448>
- Ministerio de la Protección Social. (2010). RESOLUCIÓN 2121 DE 2010. Bogotá. Recuperado de https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MPS_2121_201

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

0.pdf

- Ministerio de Salud de Colombia. (2017). Gobierno presenta Encuesta Nacional de Situación Nutricional de Colombia (ENSIN) 2015. Recuperado el 13 de mayo de 2018, de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Gobierno-presenta-Encuesta-Nacional-de-Situación-Nutricional-de-Colombia-ENSIN-2015.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). *Resolución 2465 de 2016 de la República de Colombia*. Recuperado de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion 2465 de 2016.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion%202465%20de%202016.pdf)
- Moreno Segura, C. M. (2016). *ANÁLISIS DE SITUACIÓN DE SALUD (ASIS) COLOMBIA, 2016 Dirección de Epidemiología y Demografía Bogotá, noviembre de 2016*. Bogotá. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/asis-colombia-2016.pdf>
- Morrison, A. S. (1992). *Screening in chronic disease* (2nd ed.). Oxford. Recuperado de <https://catalogue.nla.gov.au/Record/2603443>
- Morse, S. S., Murugiah, M. K., Soh, Y. C., Wong, T. W., & Ming, L. C. (2017). Mobile Health Applications for Pediatric Care. *Therapeutic Innovation & Regulatory Science*, 216847901772555. <https://doi.org/10.1177/2168479017725557>
- Mother and Child Nutrition. (2017). MUAC Tape - Interpretation of MUAC indicators - Mother, Infant and Young Child Nutrition & Malnutrition - Feeding practices including micronutrient deficiencies prevention, control of wasting, stunting and underweight. Recuperado el 2 de octubre de 2017, de <http://motherchildnutrition.org/early-malnutrition-detection/detection-referral-children-with-acute-malnutrition/interpretation-of-muac-indicators.html>
- Moumane, K., Idri, A., & Abran, A. (2016). Usability evaluation of mobile applications using ISO 9241 and ISO 25062 standards. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2171-z>
- Nocetti, J. (2015). 5 claves para comprender la Inseguridad Alimentaria en el Mundo. Recuperado el 25 de septiembre de 2017, de <http://www.unitedexplanations.org/2015/10/22/inseguridad-alimentaria/>
- OMS. (2014). *Patrones de crecimiento infantil*. WHO. World Health Organization. Recuperado de <https://www.who.int/childgrowth/standards/es/>
- OMS. (2017a). Malnutrición. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/malnutrition/es/>
- OMS. (2017b). Mortalidad. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de <http://www.who.int/topics/mortality/es/>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

OMS - Departamento de Nutrición para la Salud y el Desarrollo. (2003). *Resumen de los Patrones de crecimiento infantil de la OMS*. Recuperado de https://www.who.int/childgrowth/standards/tr_summary_spanish_rev.pdf?ua=1

ONU. (2013). Objetivos de Desarrollo del Milenio. *Naciones Unidas*, 64. Recuperado de <http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/mdg-report-2013-spanish.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Segunda Conferencia Internacional sobre Nutrición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-as603s.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2018). Malnutrición. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>

Osada, J., Vidal, L., & León, F. (2014). Comparación de variables estadísticas: clavando un tornillo. *Revista Médica de Chile*, 1080–1081. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rmc/v142n8/art19.pdf>

Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2010). Pruebas diagnósticas: Sensibilidad y especificidad. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de https://www.fisterra.com/mbe/investiga/pruebas_diagnosticas/pruebas_diagnosticas.asp

Pontiles de Sánchez, M., Morón de Salim, A., & Darías Perdomo, S. (2016). Circunferencia media de brazo en preescolares y escolares hospitalizados como valor predictivo de desnutrición aguda. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3). Recuperado de <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-3/>

Ravasco, P., Anderson, H., Mardones, F., & Red de Malnutrición en Iberoamérica del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red Mel-CYTED). (2010). *Nutrición hospitalaria: Métodos de valoración del estado nutricional. Nutrición Hospitalaria* (Vol. 25). Madrid: Jarpyo Editores. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112010000900009

Revista Semana. (2016, diciembre). Desnutrición en Colombia no es solo cuestión de hambre. Recuperado de <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/desnutricion-en-colombia-no-es-solo-cuestion-de-hambre/36663>

Ruiz Gómez, F., Franco Restrepo, C., Góngora Salazar, P., Girón Vargas, S. L., & Rodríguez Norato, C. (2016). *Desnutrición infantil en Colombia: Marco de referencia*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/AS/papeles-salud-n3.pdf>

SENIN. (2015). *Base de datos de seguimiento nutricional infantil*. Medellín.

Sillay, K. A., & Birdwell, J. D. (2014). US20140257047A1. E.E.U.U. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US20140257047A1/en?q=mobile&q=health&q=app>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

smartdraw. (s/f). Cross-section of the Arm. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://wcs.smartdraw.com/muscular-system/examples/crosssection-of-the-arm.png?bn=1510011133>

Sýkora, S. (2005). *Approximations of Ellipse Perimeters and of the Complete Elliptic Integral $E(x)$. Review of known formulae.* Italy. <https://doi.org/10.3247/SL1Math05.004>

The New York Times. (2013). Malnutrition - Symptoms, Diagnosis, Treatment of Malnutrition - NY Times Health Information. Recuperado de <http://www.nytimes.com/health/guides/disease/malnutrition/overview.html>

Todorovic, V., Russell, C., & Elia, M. (Eds.). (2012). *MANUAL EXPLICATIVO 'MUST'*. MAG. Recuperado de <http://www.bapen.org.uk/images/pdfs/must/spanish/must-exp-bk.pdf>

UNICEF. (2006). UNICEF Dominican Republic - Salud - Desnutrición Infantil. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de https://www.unicef.org/republicadominicana/health_childhood_10172.htm

UNICEF. (2011). *LA DESNUTRICIÓN INFANTIL - Causas, consecuencias y estrategias para su prevención y tratamiento.* Madrid. Recuperado de www.unicef.es

UNICEF. (2012). *Evaluación del crecimiento de niños y niñas Material de apoyo para equipos de atención primaria de la salud.* Recuperado de http://files.unicef.org/argentina/spanish/Nutricion_24julio.pdf

Universidad EIA. (s/f). Escudo. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://www.eia.edu.co/simbolos/escudo>

Vargas Barrera, R. (2008). *Estadística II Programa Administración Pública Territorial.* Bogotá. Recuperado de <http://www.esap.edu.co/portal/wp-content/uploads/2017/10/6-Estadstica-ii.pdf>

Varios Autores. (2001). *Medicina Preventiva y Salud Pública* (12a ed.). Barcelona: Elsevier. Recuperado de http://cv.uoc.edu/UOC/a/moduls/90/90_166d/web/main/m4/21d.html

Villa Romero, A. R., Moreno Altamirano, L., & García de la Torre, G. S. (2012). *Epidemiología y estadística en salud pública* (1a ed.). McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookid=1464>

WHO. (2006). WHO child growth standards and the identification of severe acute malnutrition in infants and children. Recuperado de http://www.who.int/nutrition/publications/severemalnutrition/9789241598163_eng.pdf

Zamora, J. A. (2016). ¿Qué es Firebase? La mejorada plataforma de desarrollo de Google - El Androide Libre. Recuperado el 30 de octubre de 2018, de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<https://elandroidelibre.espanol.com/2016/05/firebase-plataforma-desarrollo-android-ios-web.html>

ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones de las tablas de la OMS

A continuación, se encuentra cada una de las ecuaciones utilizadas dentro de la app para evaluar el estado nutricional de un usuario.

Para las niñas:

(1) Longitud/Estatura para la Edad 0 – 24 meses:

$$f(x) = P1 * x^6 + P2 * x^5 + P3 * x^4 + P4 * x^3 + P5 * x^2 + P6 * x + P7$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (-1.213 * 10^{-6}) * x^6 + (0.0001053) * x^5 + (-0.003672) * x^4 + (0.06613) * x^3 + (-0.6722) * x^2 + (5.08) * x + (49.14)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (-9.256 * 10^{-7}) * x^6 + (8.308 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003012) * x^4 + (0.05674) * x^3 + (-0.608) * x^2 + (4.846) * x + (47.34)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (-1.053 * 10^{-6}) * x^6 + (9.289 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003295) * x^4 + (0.0605) * x^3 + (-0.6299) * x^2 + (4.828) * x + (45.45)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (-1.067 * 10^{-6}) * x^6 + (9.224 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003217) * x^4 + (0.0584) * x^3 + (-0.6069) * x^2 + (4.674) * x + (43.63)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (-1.073 * 10^{-6}) * x^6 + (9.488 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003384) * x^4 + (0.06256) * x^3 + (-0.6542) * x^2 + (5.119) * x + (51.03)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (9.603 * 10^{-7}) * x^6 + (8.732 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003194) * x^4 + (0.0604) * x^3 + (-0.6441) * x^2 + (5.166) * x + (52.94)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (-1.144 * 10^{-6}) * x^6 + (0.0001012) * x^5 + (-0.003607) * x^4 + (0.0665) * x^3 + (-0.6895) * x^2 + (5.368) * x + (54.72)$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(2) Longitud/Estatura para la Edad 24 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^3 + P2 * x^2 + P3 * x + P4$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (7.103 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01341) * x^2 + (1.386) * x + (59.22)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (6.626 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01162) * x^2 + (1.21) * x + (56.11)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (6.05 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01259) * x^2 + (1.302) * x + (57.61)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (5.784 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.0111) * x^2 + (1.138) * x + (54.36)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (6.96 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.0135) * x^2 + (1.444) * x + (61.15)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (7.057 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01391) * x^2 + (1.515) * x + (62.89)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (8.155 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01545) * x^2 + (1.627) * x + (64.14)$$

(3) Peso para la Edad 0 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^7 + P2 * x^6 + P3 * x^5 + P4 * x^4 + P5 * x^3 + P6 * x^2 + P7 * x + P8$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (1.598 * 10^{-10}) * x^7 + (-3.935 * 10^{-8}) * x^6 + (3.96 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002095) * x^4 + (0.00624) * x^3 + (-0.1044) * x^2 + (1.121) * x + (3.207)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (1.627 * 10^{-10}) * x^7 + (-3.97 * 10^{-8}) * x^6 + (3.959 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002072) * x^4 + (0.006089) * x^3 + (-0.1001) * x^2 + (1.039) * x + (2.764)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (1.102 * 10^{-10}) * x^7 + (-2.799 * 10^{-8}) * x^6 + (2.906 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0001585) * x^4 + (0.004853) * x^3 + (-0.08338) * x^2 + (0.9116) * x + (2.389)$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (1.384 * 10^{-10}) * x^7 + (-3.371 * 10^{-8}) * x^6 + (3.359 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0001758) * x^4 + (0.005161) * x^3 + (-0.08493) * x^2 + (0.8772) * x + (1.965)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (1.62 * 10^{-10}) * x^7 + (-4.01 * 10^{-8}) * x^6 + (4.064 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002171) * x^4 + (0.006557) * x^3 + (-0.1116) * x^2 + (1.231) * x + (3.714)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (1.853 * 10^{-10}) * x^7 + (-4.551 * 10^{-8}) * x^6 + (4.575 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002426) * x^4 + (0.007293) * x^3 + (-0.1238) * x^2 + (1.376) * x + (4.245)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (2.049 * 10^{-10}) * x^7 + (-5.013 * 10^{-8}) * x^6 + (5.018 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002654) * x^4 + (0.007987) * x^3 + (-0.1365) * x^2 + (1.546) * x + (4.829)$$

(4) Peso para la Longitud 0 – 24 meses:

$$f(x) = P1 * x^3 + P2 * x^2 + P3 * x + P4$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (3.324 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.007228) * x^2 + (0.7346) * x + (-19.35)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (2.853 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.006206) * x^2 + (0.6439) * x + (-17.08)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (2.457 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.005346) * x^2 + (0.5667) * x + (-15.14)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (2.122 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.004618) * x^2 + (0.5005) * x + (-13.47)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (3.887 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.008451) * x^2 + (0.8419) * x + (-22.03)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (4.563 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.009918) * x^2 + (0.9693) * x + (-25.19)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (5.38 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01169) * x^2 + (1.122) * x + (-28.96)$$

(5) Peso para la Estatura 24 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^3 + P2 * x^2 + P3 * x + P4$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (3.774 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.007964) * x^2 + (0.7597) * x + (-18.82)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (3.383 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.007257) * x^2 + (0.7055) * x + (-17.87)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (2.794 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.005888) * x^2 + (0.584) * x + (-14.66)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (2.415 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.005053) * x^2 + (0.5092) * x + (-12.77)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (4.583 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.009823) * x^2 + (0.9212) * x + (-22.99)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (5.314 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01138) * x^2 + (1.052) * x + (-26.13)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (6.229 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01332) * x^2 + (1.21) * x + (-29.8)$$

(6) IMC para la Edad 0 – 24 meses:

$$f(x) = P1 * x^7 + P2 * x^6 + P3 * x^5 + P4 * x^4 + P5 * x^3 + P6 * x^2 + P7 * x + P8$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (-4.489 * 10^{-8}) * x^7 + (3.513 * 10^{-6}) * x^6 + (-9.744 * 10^{-5}) * x^5 + (0.0008795) * x^4 + (0.008803) * x^3 + (-0.2475) * x^2 + (1.745) * x + (12.95)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (-6.628 * 10^{-8}) * x^7 + (5.434 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0001664) * x^5 + (0.002148) * x^4 + (-0.004085) * x^3 + (-0.1745) * x^2 + (1.532) * x + (11.77)$$

(c) Desviación Estándar -2:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

$$f(x) = (-6.745 * 10^{-8}) * x^7 + (5.655 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0001796) * x^5 + (0.002517) * x^4 \\ + (-0.009519) * x^3 + (-0.1313) * x^2 + (1.376) * x + (10.64)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (-1.191 * 10^{-7}) * x^7 + (1 * 10^{-5}) * x^6 + (-0.0003249) * x^5 + (0.004975) * x^4 \\ + (-0.03171) * x^3 + (-0.02756) * x^2 + (1.165) * x + (9.56)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (-5.023 * 10^{-8}) * x^7 + (3.842 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0001025) * x^5 + (0.0008062) * x^4 \\ + (0.01205) * x^3 + (-0.2876) * x^2 + (1.948) * x + (14.2)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (-6.551 * 10^{-8}) * x^7 + (5.176 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0001485) * x^5 + (0.001583) * x^4 \\ + (0.005785) * x^3 + (-0.2742) * x^2 + (2.039) * x + (15.63)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (-7.795 * 10^{-8}) * x^7 + (6.364 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0001926) * x^5 + (0.002368) * x^4 \\ + (-0.0005273) * x^3 + (-0.2654) * x^2 + (2.184) * x + (17.1)$$

(7) IMC para la Edad 24 – 60 meses:

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = \begin{cases} 15.7, & x < 26 \\ 15.6, & 26 \leq x \leq 29 \\ 15.5, & 30 \leq x \leq 33 \\ 15.4, & 34 \leq x \leq 38 \\ 15.3, & 39 \leq x \leq 51 \vee 53 \leq x \leq 60 \\ 15.2, & x = 52 \end{cases}$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = \begin{cases} 14.4, & x < 28 \\ 14.3, & 28 \leq x \leq 32 \\ 14.2, & 33 \leq x \leq 36 \\ 14.1, & 37 \leq x \leq 41 \\ 14, & 42 \leq x \leq 48 \\ 13.9, & 48 < x \end{cases}$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = \begin{cases} 13.3, & x < 29 \\ 13.2, & 29 \leq x \leq 32 \\ 13.1, & 33 \leq x \leq 37 \\ 13, & 38 \leq x \leq 41 \\ 12.9, & 42 \leq x \leq 46 \\ 12.8, & 47 \leq x \leq 52 \\ 12.7, & 52 < x \end{cases}$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = \begin{cases} 12.4, & x < 26 \\ 12.3, & 26 \leq x \leq 30 \\ 12.2, & 31 \leq x \leq 34 \\ 12.1, & 35 \leq x \leq 38 \\ 12, & 39 \leq x \leq 42 \\ 11.9, & 43 \leq x \leq 46 \\ 11.8, & 47 \leq x \leq 51 \\ 11.7, & 52 \leq x \leq 58 \\ 11.6, & 58 < x \end{cases}$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = \begin{cases} 17.1, & x < 26 \\ 17, & 26 \leq x \leq 29 \\ 16.9, & 30 \leq x \leq 33 \vee 56 < x \\ 16.8, & 34 \leq x \leq 56 \end{cases}$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = \begin{cases} 18.7, & x < 27 \vee 54 \leq x \leq 57 \\ 18.6, & 27 \leq x \leq 30 \vee 50 \leq x \leq 53 \\ 18.5, & 31 \leq x \leq 34 \vee 44 \leq x \leq 49 \\ 18.4, & 35 \leq x \leq 43 \\ 18.8, & 57 < x \end{cases}$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = \begin{cases} 20.6, & x < 27 \vee x = 48 \vee x = 49 \\ 20.5, & x = 27 \vee x = 28 \vee 45 \leq x \leq 47 \\ 20.4, & 29 \leq x \leq 32 \vee 41 \leq x \leq 44 \\ 20.3, & 33 \leq x \leq 40 \\ 20.7, & 50 \leq x \leq 52 \\ 20.8, & x = 53 \vee x = 54 \\ 20.9, & x = 55 \vee x = 56 \\ 21, & 57 \leq x \leq 59 \\ 21.1, & x = 60 \end{cases}$$

(8) Perímetro braquial para la Edad 3 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^6 + P2 * x^5 + P3 * x^4 + P4 * x^3 + P5 * x^2 + P6 * x + P7$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (-4.433 * 10^{-9}) * x^6 + (9.075 * 10^{-7}) * x^5 + (-7.23 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002818) * x^3 + (-0.05544) * x^2 + (0.5681) * x + (11.81)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (-3.614 * 10^{-9}) * x^6 + (7.389 * 10^{-7}) * x^5 + (-5.877 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002287) * x^3 + (-0.04516) * x^2 + (0.4769) * x + (10.98)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (-3.643 * 10^{-9}) * x^6 + (7.385 * 10^{-7}) * x^5 + (-5.811 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002231) * x^3 + (-0.0434) * x^2 + (0.4507) * x + (10.1)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (-3.248 * 10^{-9}) * x^6 + (6.563 * 10^{-7}) * x^5 + (-5.152 * 10^{-5}) * x^4 + (0.001976) * x^3 + (-0.03855) * x^2 + (0.4049) * x + (9.363)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (-4.523 * 10^{-9}) * x^6 + (9.301 * 10^{-7}) * x^5 + (-7.466 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002941) * x^3 + (-0.05849) * x^2 + (.6048) * x + (12.88)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (-5.493 * 10^{-9}) * x^6 + (1.13 * 10^{-6}) * x^5 + (-9.087 * 10^{-5}) * x^4 + (0.003587) * x^3 + (-0.07131) * x^2 + (0.7234) * x + (13.84)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (-6.098 * 10^{-9}) * x^6 + (1.258 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0001014) * x^4 + (0.004009) * x^3 + (-0.07966) * x^2 + (0.8012) * x + (15.08)$$

(9) Perímetro cefálico para la Edad 0 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^7 + P2 * x^6 + P3 * x^5 + P4 * x^4 + P5 * x^3 + P6 * x^2 + P7 * x + P8$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (3.32 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.943 * 10^{-8}) * x^6 + (7.815 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004087) * x^4 + (0.01229) * x^3 + (-0.2164) * x^2 + (2.285) * x + (34.15)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (3.154 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.588 * 10^{-8}) * x^6 + (7.505 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0003944) * x^4 + (0.01191) * x^3 + (-0.2104) * x^2 + (2.23) * x + (33.02)$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (3.416 * 10^{-10}) * x^7 + (-8.177 * 10^{-8}) * x^6 + (8.028 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004175 * x^4 + (0.01242) * x^3 + (-0.2154) * x^2 + (2.232) * x + (31.82)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (3.452 * 10^{-10}) * x^7 + (-8.225 * 10^{-8}) * x^6 + (8.037 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004158) * x^4 + (0.0123) * x^3 + (-0.2119) * x^2 + (2.183) * x + (30.71)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (3.033 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.403 * 10^{-8}) * x^6 + (7.425 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0003954) * x^4 + (0.01209) * x^3 + (-0.2159) * x^2 + (2.309) * x + (35.31)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (3.148 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.603 * 10^{-8}) * x^6 + (7.562 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004005) * x^4 + (0.01222) * x^3 + (-0.2186) * x^2 + (2.349) * x + (36.44)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (2.831 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.006 * 10^{-8}) * x^6 + (7.134 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0003862) * x^4 + (0.01201) * x^3 + (-0.2185) * x^2 + (2.377) * x + (37.6)$$

Para los niños:

(1) Longitud/Estatura para la Edad 0 – 24 meses:

$$f(x) = P1 * x^6 + P2 * x^5 + P3 * x^4 + P4 * x^3 + P5 * x^2 + P6 * x + P7$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (-7.117 * 10^{-7}) * x^6 + (6.937 * 10^{-7}) * x^5 + (-0.002741) * x^4 + (0.05637) * x^3 + (-0.6543) * x^2 + (5.36) * x + (49.91)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (-8.143 * 10^{-7}) * x^6 + (7.71 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.002956) * x^4 + (0.059) * x^3 + (-0.6677) * x^2 + (5.34) * x + (48.02)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (9.361 * 10^{-7}) * x^6 + (8.474 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003118) * x^4 + (0.06017) * x^3 + (-0.6669) * x^2 + (5.277) * x + (46.11)$$

(d) Desviación Estándar -3:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

$$f(x) = (-7.066 * 10^{-7}) * x^6 + (6.879 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.002702) * x^4 + (0.0551) * x^3 + (-0.6389) * x^2 + (5.181) * x + (44.23)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (-8.03 * 10^{-7}) * x^6 + (7.73 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003006) * x^4 + (0.06056) * x^3 + (-0.6848) * x^2 + (5.479) * x + (51.81)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (-8.628 * 10^{-7}) * x^6 + (8.088 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003081) * x^4 + (0.06118) * x^3 + (-0.6856) * x^2 + (5.512) * x + (53.7)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (-9.244 * 10^{-7}) * x^6 + (8.668 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.003289) * x^4 + (0.06474) * x^3 + (-0.7135) * x^2 + (5.627) * x + (55.6)$$

(2) Longitud/Estatura para la Edad 24 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^3 + P2 * x^2 + P3 * x + P4$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (0.0001161) * x^3 + (-0.01855) * x^2 + (1.542) * x + (59.23)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (9.324 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01534) * x^2 + (1.354) * x + (59.16)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (8.67 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.0142) * x^2 + (1.252) * x + (57.96)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (7.895 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01281) * x^2 + (1.135) * x + (57.36)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (0.0001178) * x^3 + (-0.01918) * x^2 + (1.627) * x + (60.59)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (0.0001304) * x^3 + (-0.0212) * x^2 + (1.77) * x + (61.18)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (0.000145) * x^3 + (-0.0234) * x^2 + (1.918) * x + (61.72)$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(3) Peso para la Edad 0 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^7 + P2 * x^6 + P3 * x^5 + P4 * x^4 + P5 * x^3 + P6 * x^2 + P7 * x + P8$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (2.259 * 10^{-10}) * x^7 + (-5.47 * 10^{-8}) * x^6 + (5.4 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002791) * x^4 + (0.008083) * x^3 + (-0.1311) * x^2 + (1.318) * x + (3.346)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (1.962 * 10^{-10}) * x^7 + (-4.768 * 10^{-8}) * x^6 + (4.724 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002453) * x^4 + (0.007151) * x^3 + (-0.1173) * x^2 + (1.193) * x + (2.9)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (1.986 * 10^{-10}) * x^7 + (-4.729 * 10^{-8}) * x^6 + (4.599 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002351) * x^4 + (0.006776) * x^3 + (-0.1106) * x^2 + (1.114) * x + (2.469)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (1.523 * 10^{-10}) * x^7 + (-3.737 * 10^{-8}) * x^6 + (3.745 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0001972) * x^4 + (0.00585) * x^3 + (-0.09827) * x^2 + (1.014) * x + (2.072)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (2.317 * 10^{-10}) * x^7 + (-5.601 * 10^{-8}) * x^6 + (5.524 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002856) * x^4 + (0.008291) * x^3 + (-0.1351) * x^2 + (1.389) * x + (3.924)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (2.27 * 10^{-10}) * x^7 + (-5.569 * 10^{-8}) * x^6 + (5.581 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0002935) * x^4 + (0.008669) * x^3 + (-0.1433) * x^2 + (1.503) * x + (4.471)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (3.012 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.224 * 10^{-8}) * x^6 + (7.06 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.000361) * x^4 + (0.01033) * x^3 + (-0.1644) * x^2 + (1.667) * x + (5.099)$$

(4) Peso para la Longitud 0 – 24 meses:

$$f(x) = P1 * x^3 + P2 * x^2 + P3 * x + P4$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (3.065 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.006998) * x^2 + (0.749) * x + (-20.35)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (2.62 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.006018) * x^2 + (0.6616) * x + (-18.16)$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (2.241 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.005179) * x^2 + (0.5859) * x + (-16.25)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (1.918 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.004464) * x^2 + (0.5204) * x + (-14.59)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (3.59 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.008152) * x^2 + (0.8506) * x + (-22.88)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (4.211 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.009515) * x^2 + (0.969) * x + (-25.81)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (4.949 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01113) * x^2 + (1.108) * x + (-29.21)$$

(5) Peso para la Estatura 24 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^3 + P2 * x^2 + P3 * x + P4$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (3.839 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.008606) * x^2 + (0.8499) * x + (-21.94)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (2.839 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.006182) * x^2 + (0.6388) * x + (-16.28)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (2.39 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.005248) * x^2 + (0.5631) * x + (-14.63)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (1.65 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.003404) * x^2 + (0.3966) * x + (-10)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (5.905 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01346) * x^2 + (1.265) * x + (-32.67)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (5.905 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01346) * x^2 + (1.265) * x + (-32.67)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (7.315 * 10^{-5}) * x^3 + (-0.01677) * x^2 + (1.543) * x + (-39.85)$$

(6) IMC para la Edad 0 – 24 meses:

$$f(x) = P1 * x^7 + P2 * x^6 + P3 * x^5 + P4 * x^4 + P5 * x^3 + P6 * x^2 + P7 * x + P8$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (-2.729 * 10^{-8}) * x^7 + (1.517 * 10^{-6}) * x^6 + (-7.184 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.001209) * x^4 + (0.03502) * x^3 + (-0.4206) * x^2 + (2.266) * x + (12.95)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (-2.533 * 10^{-8}) * x^7 + (1.532 * 10^{-6}) * x^6 + (-1.517 * 10^{-5}) * x^5 + (-0.000907) * x^4 + (0.03009) * x^3 + (-0.3796) * x^2 + (2.107) * x + (11.79)$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (-1.688 * 10^{-8}) * x^7 + (7.958 * 10^{-6}) * x^6 + (9.698 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.001301) * x^4 + (0.03269) * x^3 + (-0.3801) * x^2 + (2.068) * x + (10.6)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (-6.089 * 10^{-8}) * x^7 + (4.723 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.00013) * x^5 + (0.001216) * x^4 + (0.008503) * x^3 + (-0.26) * x^2 + (1.806) * x + (9.618)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (-6.155 * 10^{-8}) * x^7 + (4.367 * 10^{-6}) * x^6 + (-9.965 * 10^{-5}) * x^5 + (0.0002561) * x^4 + (0.02359) * x^3 + (-0.3845) * x^2 + (2.262) * x + (14.34)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (-7.577 * 10^{-8}) * x^7 + (5.687 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0001484) * x^5 + (0.001159) * x^4 + (0.01517) * x^3 + (-0.3537) * x^2 + (2.283) * x + (15.77)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (-9.242 * 10^{-8}) * x^7 + (7.289 * 10^{-6}) * x^6 + (-0.0002086) * x^5 + (0.00226) * x^4 + (0.005368) * x^3 + (-0.3211) * x^2 + (2.321) * x + (17.3)$$

(7) IMC para la Edad 24 – 60 meses:

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = \begin{cases} 16, & x < 26 \\ 15.9, & 26 \leq x \leq 28 \\ 15.8, & 29 \leq x \leq 31 \\ 15.7, & 32 \leq x \leq 34 \\ 15.6, & 35 \leq x \leq 37 \\ 15.5, & 38 \leq x \leq 41 \\ 15.4, & 42 \leq x \leq 46 \\ 15.3, & 47 \leq x \leq 54 \\ 15.2, & 54 < x \end{cases}$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = \begin{cases} 14.8, & x < 27 \\ 14.7, & 27 \leq x \leq 29 \\ 14.6, & 30 \leq x \leq 32 \\ 14.5, & 33 \leq x \leq 35 \\ 14.4, & 36 \leq x \leq 38 \\ 14.3, & 39 \leq x \leq 42 \\ 14.2, & 43 \leq x \leq 47 \\ 14.1, & 48 \leq x \leq 53 \\ 14, & 53 < x \end{cases}$$

(c) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = \begin{cases} 13.8, & x < 26 \\ 13.7, & x = 26 \vee x = 27 \\ 13.6, & 28 \leq x \leq 30 \\ 13.5, & 31 \leq x \leq 33 \\ 13.4, & 34 \leq x \leq 36 \\ 13.3, & 37 \leq x \leq 39 \\ 13.2, & 40 \leq x \leq 43 \\ 13.1, & 44 \leq x \leq 48 \\ 13, & 49 \leq x \leq 55 \\ 12.9, & 55 < x \end{cases}$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = \begin{cases} 12.9, & x = 24 \\ 12.8, & x = 25 \vee x = 26 \\ 12.7, & 27 \leq x \leq 29 \\ 12.6, & x = 30 \vee x = 31 \\ 12.5, & 32 \leq x \leq 34 \\ 12.4, & 35 \leq x \leq 37 \\ 12.3, & 38 \leq x \leq 40 \\ 12.2, & 41 \leq x \leq 45 \\ 12.1, & 46 \leq x \leq 51 \\ 12, & 51 < x \end{cases}$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = \begin{cases} 17.3, & x < 27 \\ 17.2, & x = 27 \vee x = 28 \\ 17.1, & 39 \leq x \leq 31 \\ 17, & 32 \leq x \leq 34 \\ 16.9, & 35 \leq x \leq 37 \\ 16.8, & 38 \leq x \leq 42 \\ 16.7, & 43 \leq x \leq 50 \\ 16.6, & 51 < x \end{cases}$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = \begin{cases} 18.9, & x < 25 \\ 18.8, & x = 25 \vee x = 26 \\ 18.7, & x = 27 \vee x = 28 \\ 18.6, & x = 29 \vee x = 30 \\ 18.5, & 31 \leq x \leq 33 \\ 18.4, & 34 \leq x \leq 36 \\ 18.3, & 37 \leq x \leq 39 \vee 57 < x \\ 18.2, & 40 \leq x \leq 57 \end{cases}$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = \begin{cases} 20.6, & x = 24 \\ 20.5, & x = 25 \vee x = 26 \\ 20.4, & x = 27 \vee x = 28 \\ 20.3, & x = 29 \vee x = 30 \\ 20.2, & x = 30 \vee x = 31 \vee x = 58 \vee x = 59 \\ 20.1, & x = 32 \vee x = 33 \vee x = 56 \vee x = 57 \\ 20, & 34 \leq x \leq 36 \vee 53 \leq x \leq 55 \\ 19.9, & 37 \leq x \leq 41 \vee 47 \leq x \leq 52 \\ 19.8, & 42 \leq x \leq 46 \\ 20.9, & x = 55 \vee x = 56 \\ 21, & 57 \leq x \leq 59 \\ 21.1, & x = 60 \end{cases}$$

(8) Perímetro braquial para la Edad 3 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^6 + P2 * x^5 + P3 * x^4 + P4 * x^3 + P5 * x^2 + P6 * x + P7$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (-4.475 * 10^{-9}) * x^6 + (9.15 * 10^{-7}) * x^5 + (-7.302 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002863) * x^3 + (-0.0571) * x^2 + (0.5832) * x + (12.24)$$

(h) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (-3.614 * 10^{-9}) * x^6 + (7.351 * 10^{-7}) * x^5 + (-5.982 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002388) * x^3 + (-0.04853) * x^2 + (0.5085) * x + (11.4)$$

(i) Desviación Estándar -2:

$$f(x) = (-3.219 * 10^{-9}) * x^6 + (6.687 * 10^{-7}) * x^5 + (-5.42 * 10^{-5}) * x^4 + (0.002157) * x^3 + (-0.04378) * x^2 + (0.4615) * x + (10.56)$$

(j) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (-3.242) * x^6 + (6.66 * 10^{-7}) * x^5 + (-5.329 * 10^{-5}) * x^4 + (0.00209) * x^3 + (-0.04172) * x^2 + (0.4339) * x + (9.745)$$

(k) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (-4.799 * 10^{-9}) * x^6 + (9.866 * 10^{-7}) * x^5 + (-7.921 * 10^{-5}) * x^4 + (0.003134) * x^3 + (-0.06299) * x^2 + (0.6482) * x + (13.13)$$

(l) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (-4.323 * 10^{-9}) * x^6 + (9.13 * 10^{-6}) * x^5 + (-7.545 * 10^{-5}) * x^4 + (0.003072) * x^3 + (-0.0637) * x^2 + (0.683) * x + (14.11)$$

(m) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (-5.569 * 10^{-9}) * x^6 + (1.152 * 10^{-6}) * x^5 + (-9.327) * x^4 + (0.003727) * x^3 + (-0.07588) * x^2 + (0.7989) * x + (14.98)$$

(9) Perímetro cefálico para la Edad 0 – 60 meses:

$$f(x) = P1 * x^7 + P2 * x^6 + P3 * x^5 + P4 * x^4 + P5 * x^3 + P6 * x^2 + P7 * x + P8$$

(a) Desviación Estándar 0:

$$f(x) = (3.453 * 10^{-10}) * x^7 + (-8.32 * 10^{-8}) * x^6 + (8.244 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004343) * x^4 + (0.01316) * x^3 + (-0.2333) * x^2 + (2.448) * x + (34.74)$$

(b) Desviación Estándar -1:

$$f(x) = (3.676 * 10^{-10}) * x^7 + (-8.849 * 10^{-8}) * x^6 + (8.744 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004583) * x^4 + (0.01377) * x^3 + (-0.2409) * x^2 + (2.479) * x + (33.51)$$

(c) Desviación Estándar -2:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

$$f(x) = (3.835 * 10^{-10}) * x^7 + (-9.229 * 10^{-8}) * x^6 + (9.107 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004758) * x^4 + (0.01421) * x^3 + (-0.2466) * x^2 + (2.501) * x + (32.3)$$

(d) Desviación Estándar -3:

$$f(x) = (4.415 * 10^{-10}) * x^7 + (-1.05 * 10^{-8}) * x^6 + (1.021 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0005244) * x^4 + (0.01534) * x^3 + (-0.2591) * x^2 + (2.544) * x + (31.11)$$

(e) Desviación Estándar 1:

$$f(x) = (3.22 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.839 * 10^{-8}) * x^6 + (7.856 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0004189) * x^4 + (0.01285) * x^3 + (-0.2306) * x^2 + (2.451) * x + (35.91)$$

(f) Desviación Estándar 2:

$$f(x) = (3.137 * 10^{-10}) * x^7 + (-7.627 * 10^{-8}) * x^6 + (7.635 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.000407) * x^4 + (0.0125) * x^3 + (-0.2253) * x^2 + (2.426) * x + (37.11)$$

(g) Desviación Estándar 3:

$$f(x) = (2.626 * 10^{-10}) * x^7 + (-6.473 * 10^{-8}) * x^6 + (6.597 * 10^{-6}) * x^5 + (-0.0003598) * x^4 + (0.01137) * x^3 + (-0.2123) * x^2 + (2.376) * x + (38.34)$$

Anexo 2. Carta de autorización para el uso de historias clínicas en la prueba de funcionalidad



Medellín, 24 de octubre de 2018

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Cordial Saludo.

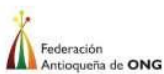
Desde la Fundación de Atención a la Niñez, el programa Jugar para Sanar los Ángeles, notificamos que a Manuela Garcia Hoyos identificada con Cc 1038415763, estudiante de Ingeniería Biomédica, se le dio autorización para obtener y hacer uso de datos confidenciales de antropometría de niños y niñas atendidos en nuestro proyecto, con el fin de que los usara para su trabajo de grado.

Si tiene cualquier duda, desea ampliar o confirmar esta información puede contactarse al 2547870 o 3054350069, estamos ubicados en la dirección Carrera 42 N° 60-48, barrio los Ángeles, sector Villa Hermosa.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Viviana Ramirez Ospina', with a horizontal line underneath.

Viviana Patricia Ramírez Ospina
Coordinadora
Centro Jugar Para Sanar Los Ángeles



Teléfono: (574) 4480288
Calle 19A # 43B 70
Medellín - Colombia



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 3. Información obtenida de las historias clínicas

	Edad (meses)	Sexo	Peso (Kg)	Estatura/Talla (cm)	P. Brazo (cm)	P.C. (cm)	Nutricionista
P1	25	Masculino	8,49	76,7	12,5	45	Riesgo de desnutrición aguda
P2	35	Masculino	11,9	90	14,5	48,5	Riesgo de desnutrición aguda
P3	30	Masculino	10,7	90	14,5	49	Desnutrición aguda moderada
P4	23	Masculino	9,4	83	14	46	Desnutrición aguda moderada
P5	9	Masculino	7,1	70,4	14,5	42,8	Desnutrición aguda moderada
P6	23	Femenino	9	79	13,5	46,2	Riesgo de desnutrición aguda
P7	10	Masculino	7	70	12,2	44,9	Desnutrición aguda moderada
P8	27	Masculino	8,9	83,8	13	49,5	Desnutrición aguda severa
P9	32	Masculino	12	92	14,3	49	Riesgo de desnutrición aguda
P10	39	Masculino	10,24	85,3	14	47,4	Riesgo de desnutrición aguda
P11	59	Masculino	15,16	108	16,3	50,5	Riesgo de desnutrición aguda
P12	43	Femenino	12,08	95	15,4	29,7	Riesgo de desnutrición aguda
P13	27	Masculino	10,86	86	15,4	48,1	Riesgo de desnutrición aguda
P14	59	Masculino	16,3	110	15,4	-	Riesgo de desnutrición aguda
P15	20	Masculino	14,1	84,5	19	49,3	Sobrepeso
P16	50	Masculino	23,1	107,2	19,5	-	Obesidad
P17	53	Masculino	15,3	95,3	17,6	48,5	Peso Adecuado para la Talla
P18	36	Masculino	12,6	96,3	15,9	47,2	Riesgo de desnutrición aguda
P19	50	Femenino	22,24	104,2	21,5	50	Obesidad
P20	39	Masculino	21,3	104,7	18,5	54,2	Sobrepeso
P21	33	Masculino	11,8	92,5	15,5	50	Riesgo de desnutrición aguda
P22	52	Femenino	21,84	101,5	23,1	51,5	Obesidad
P23	47	Femenino	12,84	96,7	15,5	47,8	Riesgo de desnutrición aguda
P24	49	Masculino	13,24	98,3	14,7	49	Riesgo de desnutrición aguda
P25	40	Masculino	10,3	85,5	14,8	47,5	Riesgo de desnutrición aguda
P26	22	Masculino	10,96	81,5	16,2	46,1	Peso Adecuado para la Talla
P27	29	Masculino	11,24	88,6	14	48,5	Riesgo de desnutrición aguda
P28	35	Masculino	16,24	93,7	16	52	Sobrepeso
P29	44	Masculino	11,3	91,5	13,8	48	Desnutrición aguda moderada
P30	33	Masculino	14,98	92	17,8	50	Riesgo de sobrepeso

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.